

Vysoká Škola Báňská- Technická Universita Ostrava  
Fakulta strojní

Bakalářská práce

Vysoká Škola Báňská- Technická Universita Ostrava  
Fakulta strojní  
Institut dopravy

Snižování environmentálního zatížení regionálního letiště – emise  
Environmental Problem for Airport - Emission

Student:  
Vedoucí:

Jan Pospíšil  
doc. Ing. Volner Rudolf, CSc.

Ostrava 2010

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Institut dopravy

## Zadání bakalářské práce

Student:

**Jan Pospíšil**

Studijní program:

B3712 Technologie letecké dopravy

Studijní obor:

3708R036 Technologie letecké dopravy

Téma:

**Snižování environmentálního zatížení regionálního letiště – emise**

**Environmental Problem for Airport - Emission**

Zásady pro vypracování:

1. Analýza současného stavu na regionálních letištích.
2. Emise – definice, měření, stanovení podmínek dodržování limitů.
3. Snížení úrovně emisí v návaznosti na provozní podmínky regionálního letiště.

Minimální rozsah BP je 30 stran textu (obrázky, tabulky, grafy a přílohy se do tohoto rozsahu nepočítají) práce musí v rámci úvodu obsahovat kapitulu se stanovením cílů práce a v závěru zhodnocení dosažených cílů.

Seznam doporučené odborné literatury:

Volner, R. a kol.: Flight Planning Management, CERM Brno, 2007, ISBN 978-80-7204-496-2  
Národní program pro snižování emisí České Republiky  
Zákon o ochraně ovzduší č. 86/2002 Sb., Ministerstvo životního prostředí

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Rudolf Volner, CSc.**

Datum zadání: 18.12.2009

Datum odevzdání: 21.05.2010

doc. Ing. Vladimír Smrž, Ph.D.  
*vedoucí katedry*



prof. Ing. Radim Farana, CSc.  
*děkan fakulty*

***Místopřísežné prohlášení studenta***

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou (bakalářskou) práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové (bakalářské) práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě .....  
podpis studenta

Prohlašuji, že:

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé kvalifikační práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě :.....

.....

Podpis

Jméno a příjmení autora práce:  
Adresa trvalého pobytu autora práce:

Jan Pospíšil  
Anotošovická 280,711 00 Koblov

## **ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

Student: Pospíšil Jan, Snižování environmentálního zatížení regionálního letiště – emise,

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Volner Rudolf, CSc.

VŠB-TU Ostrava, 2010, 53 stran.

V bakalářské práci se zabývám problematikou plyných emisí v letecké dopravě a popisuji současný vliv letecké dopravy na životní prostředí a lidské zdraví. Definuji princip měření plyných emisí pohonných jednotek a jejich maximální emisní a imisní limity. Řeším otázku snižování produkce emisí v návaznosti na provozní podmínky regionálního letiště a všeobecné postupy a trendy v jejich snižování, především vývoj spalovacích komor a pohonných jednotek.

Provedl jsem analýzu současného stavu provozu na letištích Ostrava Mošnov a Karlovy Vary.

## **ANNOTATION OF MASTER THESIS**

Student: Pospíšil Jan, Environmental Problem for Airport - Emission

Thesis supervisor: doc. Ing. Volner Rudolf, CSc.

VŠB-TU Ostrava, 2010, 53 pages

In bachelor thesis I deal with the issue of gaseous emissions in aviation. I describe the current impact of air transport on environment and human health. I define principles of measuring gaseous emissions and their maximum values. Resolving the issue of emissions reductions of the following operating conditions of a regional airport and a general practice and trends in the reduction, especially the development of combustion chambers and engines. I performed an analysis of the current operations at aerodromes Ostrava Mošnov and Karlovy Vary.

## **Poděkování**

Děkuji doc. Ing. Rudolfu Volnerovi CSc. za odborné a citlivé vedení mé práce, podnětné komentáře, pomoc při řešení problémů a za poskytování cenných rad.

Také děkuji Ing. Luboru Sobkovi za poskytnutí podkladů pro vytvoření dopravní analýzy letiště Ostrava Mošnov.

# Obsah

Seznam zkratk.....	1
Úvod .....	2
Cíl .....	3
1 Doprava a životní prostředí .....	4
1.1 Emise a imise .....	5
1.2 Plynne emise výfukových plynů .....	6
1.3 Emise v dopravě .....	8
1.4 Letecká doprava .....	9
2 Dopad letecké dopravy na životní prostředí.....	10
2.1 Kondenzační pruhy:.....	10
3 Analýza stavu environmentálního zatížení letišť Ostrava Mošnov a Karlovy Vary .....	14
3.1 Letouny s proudovými motory: .....	14
3.2 Letouny turbofan: .....	15
3.3 Letouny turboprop:.....	16
3.4 Letouny s pístovými motory: .....	17
3.5 Rozdělení letounů dle hmotnosti: .....	18
4 Emise pohonných jednotek.....	19
4.1 Srovnání motorů: .....	20
4.2 Spalovací komory .....	22
4.3 Vývoj pohonných jednotek .....	24
5 Legislativní prostředky pro snížení emisí v letecké dopravě .....	26
5.1 ETS systém .....	27
5.2 Limity znečišťování ovzduší.....	28
5.3 Účinek prachových a plyných částic na lidské zdraví.....	30
6 Letecké paliva .....	31
6.1 Alternativní paliva .....	32
7 CAEP.....	33
8 Snížování emisí na regionálních letištích.....	34
8.1 Služba řízení letového provozu .....	34
8.2 Posádka .....	34
8.3 CDA- Continuous descent approach .....	35
9 Globální prostředky pro snížení emisí .....	36
9.1 Flight Cost Management.....	36
9.2 Cost Index .....	37
9.3 Fuel Efficiency .....	38
9.4 Vliv údržby na spotřebu paliva .....	40
10 Management životního prostředí na letišti .....	41
11 Závěr .....	42
12 Seznam použitých pramenů:.....	43
13 Přílohy .....	44



## Seznam zkratek

Zkratka	Anglický význam	Český význam
AFQRJOS	Aviation fuel quality requirements for jointly operated systems	Provozní systémové požadavky na jakost paliva
CAEP	Committee on Aviation Environmental Protection	Výbor pro ochranu životního prostředí v letectví
CDA	Continuous descent approach	Postupné klesání na přiblížení
EMS	Environment management systém	Systém managementu životního prostředí
ETOPS	Extended-range Twin-engine Operational Performance Standards	
ETS	Emissions trading systém	Systém pro obchodování s emisemi
HDP		Hrubý domácí produkt
IATA	International Air Transport Association	Mezinárodní asociace leteckých dopravců Mezinárodní organizace pro civilní letectví
ICAO	International civil aviation organization	
ILS	Instrument landing systém	
ISA	International standart atmosphere	Mezinárodní standartní atmosféra
LD	Low drag	Nízký odpor
LP	Low power	Nízký výkon
LTO	Landing and Také of	Referenční cyklus vzletu a přistání
MLS	Microwave landing systém	Mikrovlný přistávací systém
ŘLP		Řízení letového provozu

## Úvod

Od pradávna lidé snili o tom, že jednoho dne budou moci létat. V dobách dávno minulých, byl tento sen často vykoupen lidskými životy. Až bratři Orvill a Wilbur Wrightovy uskutečnili první let v roce 1903. Od tohoto okamžiku nastává intenzivní vývoj přinášející obrovské pokroky. O dvacet let později již existují první dopravní letouny, které byly v porovnání s vlakem či lodí neskutečně rychlé. S příchodem druhé světové války, která vývoj dramaticky urychlila, se začínají objevovat první proudové motory. Ty se postupně dostávají do letadel pro obchodní leteckou dopravu, která zaznamenává obrovský a dlouhotrvající rozmach. Postupně se letecká doprava stává nejbezpečnější a nejrychlejší dopravou.

Lidstvo nyní zjišťuje vliv své činnosti na klima naší planety a snaží se udělat vše pro to, aby míra poškození našeho životního prostředí byla co nejmenší. Ani letectví se tomuto trendu nevyhnulo. Hlavním důvodem je především fakt, že letecká doprava se v dnešní době účastní na celkové produkci škodlivin způsobujících oteplování země podílem 3,5%.

A jelikož je do budoucna letecké dopravě prognózován až dvojnásobný nárůst počtu pohybů, je vhodné se touto problematikou zabývat.

## **Cíl**

Cílem této práce je upozornit na vliv letecké dopravy vzhledem k životnímu prostředí a následně definovat prostředky sloužící k minimalizaci tohoto vlivu. Dále pak poukázat na jednotlivé prvky plyných emisí a upřesnit jejich vznik a míru škodlivosti a také popsat prvky, které z hlediska životního prostředí, činí leteckou dopravu ekologičtější.

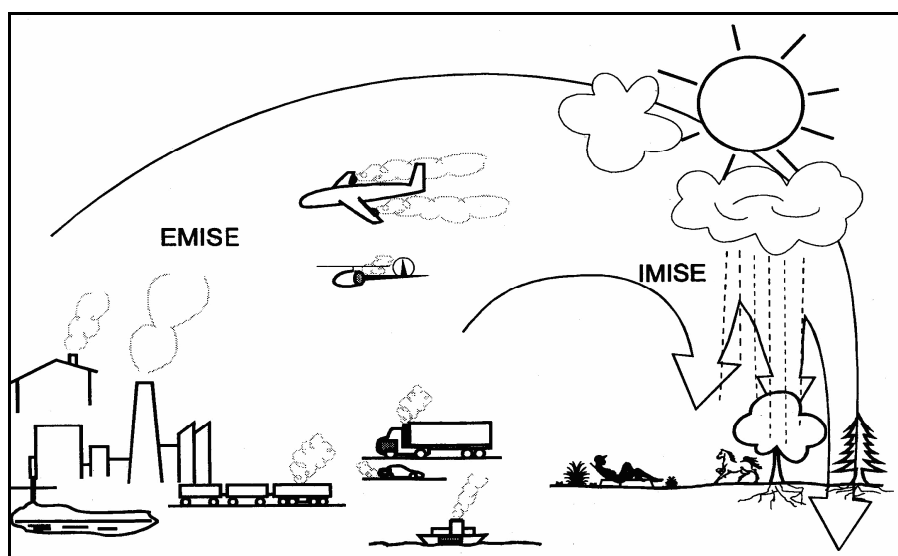
# 1 Doprava a životní prostředí

S dopravou a dopravními prostředky se všichni setkáváme každý den, vidíme je všude kolem nás a často je využíváme. S ekonomickým růstem společnosti můžeme pozorovat i nárůst v počtu dopravních prostředků a jejich nasazení za účelem uspokojení životní úrovně dané společnosti. To má za následek rozvoj dopravy, jenž je uskutečňována pomocí již zmiňovaných dopravních prostředků, které využívají paliva a elektrické energie k samotnému provozu. Spalováním paliva, popřípadě výrobou elektrické energie, jsou do ovzduší vypouštěny látky ovlivňující životní prostředí. Emise výfukových plynů či emise průmyslové. Doprava tak má vždy dva produkty. Za kladný produkt můžeme považovat samotnou přepravu osob, nákladu a surovin, za záporný pak samotný vliv na člověka, okolí a přírodu jako celek. Mezi hlavní zdroje poškozování životního prostředí patří:

- Fosilní paliva – zde řadíme nejběžnější a nejpoužívanější paliva jako uhlí, ropa a zemní plyn. V dnešních dnech již můžeme sledovat intenzivní snahu o nahrazení těchto paliv. V dopravě se začínají uplatňovat vozidla na vodíkový pohon či elektrický pohon, v energetice je to pak mohutná výstavba slunečních, větrných a vodních elektráren.
- Odpady průmyslové výroby – Při výrobě jakéhokoliv produktu vzniká vždy i produkt vedlejší a to odpad, který není vždy 100% recyklovatelný. V moderních společnostech je již vyřešeno, jak s tímto druhem problému nakládat, a minimalizovat tak dopad na životní prostředí. Podstatně horší je situace v rozvojových zemích, kde mnohdy odpad způsobený průmyslovou výrobou končí v řekách, půdě či v ovzduší.
- Znečištění moří – Úmyslně i neúmyslně jsou do moří vypouštěny látky, které jsou ve značné míře nebezpečné pro mořské živočichy i rostliny. Častým jevem se kterým se můžeme setkat je například únik ropy.
- Intenzivní zemědělství – Využívání chemikálií, ať už hnojiv či různých postřiků, má neblahý vliv na živé organismy. Mnohé nebezpečné složky těchto chemických preparátů se dostávají do povrchových i spodních vod. Lze tak pozorovat i úbytek pitné vody.
- Narušení ozónové vrstvy – Člověk svou činností tuto vrstvu značně ovlivňuje. Produkuje látky, které ozón rozkládají a tím umožňují proniknutí většího množství ultrafialového záření na zemský povrch, což je nebezpečné pro faunu i floru.

## 1.1 Emise a imise

Emisemi rozumíme látky, které jsou během výrobního procesu vypouštěny do ovzduší. Jsou tvořeny pevnými a plynnými složkami. Jakmile dojde ke styku emisí s půdou, vodou nebo živými organismy, stávají se z emisí imise. Emise jsou měřeny u zdroje, kdežto imise se měří v okolí zdroje. Existuje také pojem transmise, který je definován jako šíření a transport znečišťujících látek v atmosféře směrem k příjemci.

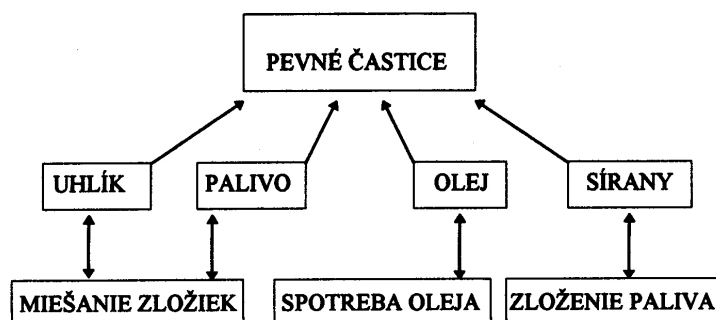


Obr. 1.1a Zdroje emisí

Tato bakalářská práce se bude dále zabírat hlavně emisemi z výfukových plynů. Ve výfukových plynech můžeme najít desítky druhů látek. Ty pak můžeme rozdělit na dvě hlavní skupiny, a to na pevné a plynné.

Pevné částice vznikají nedokonalým spalováním uhlíku, který je obsažen v palivech. Uhlovodíky a mazací oleje, opouštějící spalovací komoru v plynném stavu, tuhnou ve výfukových plynech, kde se ochlazují, a tím vznikají grafitové složky. Ty jsou ve vyšších koncentracích opticky rozeznatelné. Mohou být organické či anorganické.

Mezi hlavní představitele pevných částic patří saze, uhlovodíky a kovové částice.



Obr. 1.1b Faktory ovlivňující hlavní parametry pevných částic

## **1.2 Plynné emise výfukových plynů**

### **1.2.1 CO<sub>2</sub> – Oxid uhličitý**

Vzniká při spalování paliv obsahujících uhlík. Oxid uhličitý je běžnou součástí atmosféry. V přírodě vzniká jako produkt dýchání (redukci CO<sub>2</sub>, tento vliv je přibližně vyvažován procesem fotosyntézy), vulkanickou činností, hnilobnými a kvasnými procesy. Oxid uhličitý způsobuje tvorbu přibližně 26% zemského přirozeného skleníkového efektu. Vlivem působení člověka se jeho koncentrace v atmosféře rychle zvyšuje. Jeho nárůst v ovzduší je způsoben zejména spalováním fosilních paliv a úbytkem lesů.

Při spalování paliva vzduchem dochází ke sloučení jedné molekuly uhlíku obsažené v palivu se dvěma molekulami vzdušného kyslíku za vzniku oxidu uhličitého. Proto je hmotnost vznikajícího skleníkového plynu přibližně 3x větší než původní hmotnost paliva.

### **1.2.2 H<sub>2</sub>O – Vodní pára**

Vodní pára je také skleníkovým plynem a odpovídá za dvě třetiny přirozeného skleníkového efektu. Molekuly vody v atmosféře zachycují teplo vyzařované ze zemského povrchu a pak jej dále vyzařují všemi směry, čímž se znovu ohřívá zemský povrch.

### **1.2.3 SO<sub>2</sub> – Oxid siřičitý**

Největším přírodním zdrojem oxidu siřičitého jsou sopečné plyny. Největším antropogenním a celkově dominantním emisním zdrojem je však spalování fosilních paliv, zvláště pak spalování hnědého uhlí a jiných fosilních paliv bohatých na síru.

Z průmyslového odvětví se pak na produkci SO<sub>2</sub> podílejí nejvíce elektrárny a ropné rafinerie.

Oproti roku 1970 došlo ke snížení emisí SO<sub>2</sub> přibližně o 75%. Toto snížení bylo do značné míry výsledkem nižšího používání uhlí pro výrobu elektřiny, jeho nahrazení zemním plynem a instalace odsiřovacích technologií u největších znečišťovatelů.

Oxid siřičitý je toxický pro velké množství organismů, a to jak živočichů, tak hub i rostlin. V kombinaci s kyslíkem a vzdušnou vlhkostí může reagovat na kyselinu siřičitou a sírovou, která je velmi silnou kyselinou. Kyselé deště pak ovlivňují přirozenou rovnováhu řek, vodních ploch a půdy, a poškozují tak zdraví živočichů a rostlin.

### 1.2.4 NO<sub>x</sub> – Oxidy dusíku (NO<sub>x</sub> = NO<sub>2</sub> + NO)

Oxid dusnatý i oxid dusičitý vzniká v tepelných motorech oxidací vzdušného dusíku kyslíkem za vysokých teplot. Oxid dusnatý se snadno oxiduje volným kyslíkem na oxid dusičitý. Jeho koncentrace tedy rychle klesá v závislosti na vzdálenosti od zdroje.

V ovzduší patří k plynům, které způsobují kyselé deště (přeměnou na kyselinu dusičnou – HNO<sub>3</sub>).

V globálním měřítku převažuje množství oxidů dusíku vzniklého přírodními procesy (bakteriální a sopečnou činností) nad množstvím vzniklým lidskou činností. Toto množství je však rovnoměrně rozptýleno po celé planetě, a tak je výsledná koncentrace pozadí velmi malá a z hlediska vlivu na zdraví člověka nepodstatná.

V automobilové dopravě vzniká oproti dopravě letecké, při reakci v katalyzátoru, navíc i oxid dusný (N<sub>2</sub>O), který je sice ze všech oxidů dusíku nejméně jedovatý, je však významným skleníkovým plynem (relativní účinnost zachycování radiačního tepla je až 310 násobná v porovnání s oxidem uhličitým).

### 1.2.5 HC – Nespálené uhlovodíky

Tedy palivo, které se vůbec, nebo jen částečně přemění na CO<sub>2</sub> a H<sub>2</sub>O. Nespálené uhlovodíky (C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>) jsou běžnou složkou výfukových plynů. Jejich reprezentanty jsou anyleny, hexleny, butyleny, propylen, etylen a další.

### 1.2.6 CO – Oxid uhelnatý

Vzniká fotolýzou oxidu uhličitého, působením ultrafialového záření a při nedokonalém spalování fosilních paliv a biomasy.

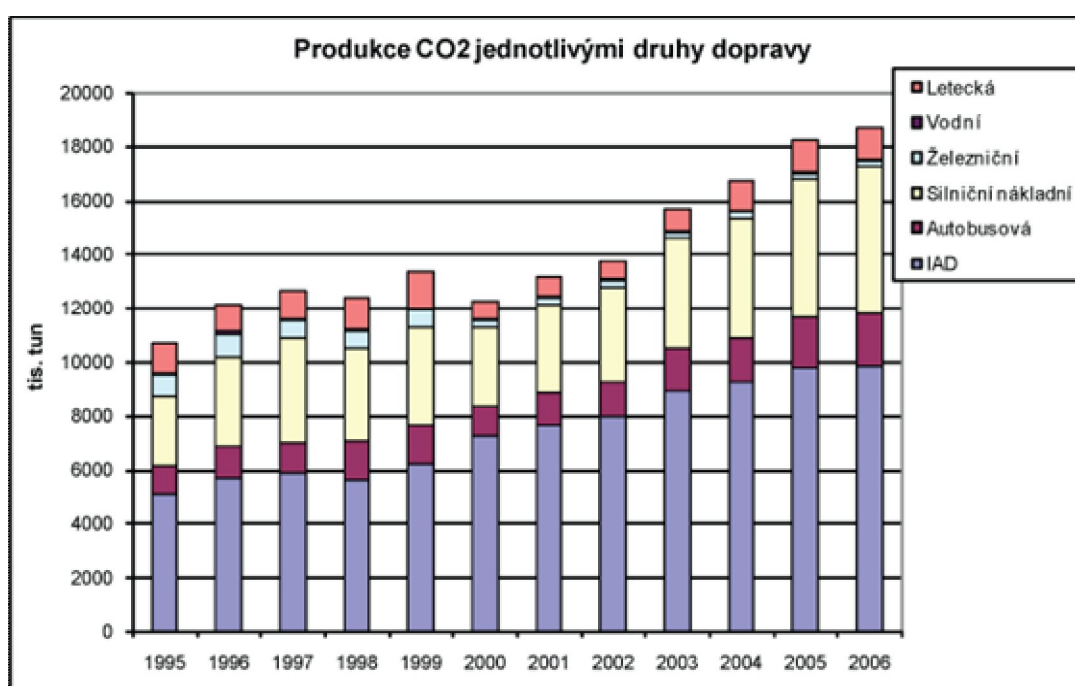
Složka výfukových plynů	Rozsah koncentrace	Jednotka
NO <sub>x</sub>	500-2000	ppm
CH	50-3000	ppm
CO	200-1000	ppm
Pevné částice	0,2-0,5	g/cm <sup>3</sup>
SO <sub>2</sub>	100-200	ppm

Tab. 1.2. Koncentrace složek ve výfukových plynech

### 1.3 Emise v dopravě

Doprava může být uskutečněna několika způsoby. Každý má jistě své klady i zápory. Doprava je uskutečňovaná na zemi, ve vzduchu a na vodě. Na vodě je to doprava lodní, ve vzduchu doprava letecká a na zemi doprava železniční a silniční.

Každý druh dopravy se na produkci emisí a ovlivňování životního prostředí podepisuje jinou měrou. V České Republice je vodní přeprava využívána jen minimálně v porovnání s ostatními druhy dopravy. Největším producentem emisí v dopravě je silniční doprava, která produkuje zhruba 85% CO<sub>2</sub>.



Obr. 1.3 Srovnání produkce CO<sub>2</sub> v dopravě

Silniční doprava dominuje i v produkci ostatních emisí jako jsou například CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> a HC. I v tomto odvětví se ovšem intenzivně pracuje na snížení emisí v souladu s normami EURO, které definují maximální množství látek vypuštěných do ovzduší pro daný typ a objem motoru.

V letecké dopravě je množství vypuštěných látek podstatně nižší. Přibližně 10% všech emisí způsobených leteckou dopravou je vyprodukováno při startu, přistání či popojíždění po provozní ploše. 90% pak připadá na lety v cestovních hladinách, stoupání po vzletu, či klesání na přistání. Emise jsou tvořeny přibližně ze 70% CO<sub>2</sub>, necelými 30% H<sub>2</sub>O a méně než jedním procentem CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> a těkavými organickými sloučeninami. Důležitou roli hraje také výška, ve které jsou emise vypouštěny.



## **1.4 Letecká doprava**

Ve srovnání s ostatními druhy dopravy, je letecká doprava, z historického hlediska, nejmladší. Od roku 1903, kdy bratři Wrightové učinili první, dvanáct sekund trvající let, se za více jak sto let vývoje, stala letecká doprava nedílnou součástí dnešního světa. Pokrok v aerodynamice, pohonných jednotkách, použitých materiálech, navigačních zařízeních a výpočetní technice nám umožňuje pohodlné cestování po celém světě s obrovskou mírou bezpečnosti. Dnešní moderní letadla reprezentují vrchol lidské technické vyspělosti.

U dopravy v rámci kontinentu či větších států je umožňována přeprava stále většího množství cestujících díky nízko-nákladovým dopravcům. Ovšem celkově se dá říci, že díky ekonomickému růstu společnosti a klesajícím cenám letenek, si může leteckou dopravu dovolit čím dál větší počet cestujících. Mnohdy je to i jediný možný druh přepravy na velké vzdálenosti či do značně odlehlých oblastí. Letecká doprava se snaží o dostupnost jakéhokoli místa na světě do patnácti hodin letu. Pro společnost má dva druhy přínosu:

### **1.4.1 Ekonomický přínos**

Letecká doprava se podílí na 8% světového HDP, vytváří 25 miliónů pracovních míst, přepraví 35 miliard tun nákladu, což tvoří přibližně 40% z celosvětové přepravy nákladu, a každoročně využijí leteckou dopravu necelé 2 miliardy cestujících.

### **1.4.2 Sociální přínos**

Letecká doprava zjednodušuje spolupráci mezi jednotlivými národy a lidmi z celého světa, vytváří jedinečný přepravní systém, podporuje turismus, zlepšuje kvalitu života, umožňuje svobodu cestování a zajišťuje humanitární pomoc.

## 2 Dopad letecké dopravy na životní prostředí

Letecká doprava je velice specifická, a tak i ovlivnění životního prostředí je značně rozdílné než u ostatních odvětví. Produkuje hluk a emise. Hluk bývá problémem zejména v oblastech letišť, kde je letecká doprava napadána obyvatelstvem žijícím v blízkém okolí. Specifická pro leteckou dopravu je produkce emisí v různých výškách atmosféry, kde narušuje její přirozené složení. Na druhou stranu toto napomáhá kvalitě ovzduší na zemi. Tento druh dopravy navíc nepotřebuje výstavbu rozsáhlých dopravních cest. Letiště zabírají pouze 1% z celé sítě pozemních komunikací.

Vliv na globální oteplování země leteckou dopravou, je v dnešní době přibližně 3,5%. Toto číslo je sice malé, ale dnešní trend snižování emisí a výhled do budoucna, kde je letecké dopravě přisuzován rozvoj, nám říká, abychom se začali zabývat vlivem letecké dopravy na životní prostředí.

Dalším problémem je ozónová vrstva Země. Ozón je plyn, který je tvořen třemi atomy kyslíku. Můžeme se s ním setkat při povrchu, i v různých výškách atmosféry. Hlavní ozónová vrstva se vyskytuje v okolí 30 km nad zemí. Tam reaguje s UV zářením, které ozón rozkládá na molekulární kyslík a znovu jej spojuje zpět. Letecká doprava mění rovnoměrné rozložení ozónu v atmosféře. Při letech ve výškách mezi 7-9 km ozón zaniká, při letech nad 10km je zase vytvářen.

### 2.1 Kondenzační pruhy:

Kondenzační pruhy jsou oblaka, která se tvoří ve stopě letadla za předpokladu, že vzduch v hladině letu je dosti chladný a suchý. Těsně po svém vzniku mají vzhled zářivě bílých čar, po krátké chvíli však nabývají chomáčkovitěho vzhledu s částmi vydutými převážně směrem dolů, takže se podobají obráceným hřibům. Jejich existence bývá zpravidla velmi krátká, někdy však – zejména při cirrové a cirrostratové oblačnosti – mohou trvat až několik hodin. Takové trvající kondenzační pruhy se dále rozšiřují a často vytvářejí dosti rozsáhlé vločkovité nebo vláknité oblaka, podobné oblakům druhu Cirrus nebo Cirrocumulus či Cirrostratus. Někdy je skutečně obtížné rozlišit starší kondenzační oblaka od přirozených oblak uvedených druhů.

Na běžných kondenzačních pruzích můžeme pozorovat také halové jevy. Jejich barvy jsou až pozoruhodně čisté.

Kondenzační pruhy můžeme rozdělit do tří skupin podle doby jejich existence na:

- Krátkodobé
- Trvale se nerozšiřující
- Trvale se rozšiřující

Krátkodobé kondenzační pruhy neexistují déle než jednu minutu, působí tence a mohou být prerušované. Pro vznik krátkodobých kondenzačních pruhů musí být vzduch v okolí letadla dostatečně suchý a obsahovat jen malé množství volné vodní páry. Ledové částice, které vytvářejí samotný pruh se tedy přemění zpět na vodní páru, a tím pruh zaniká.

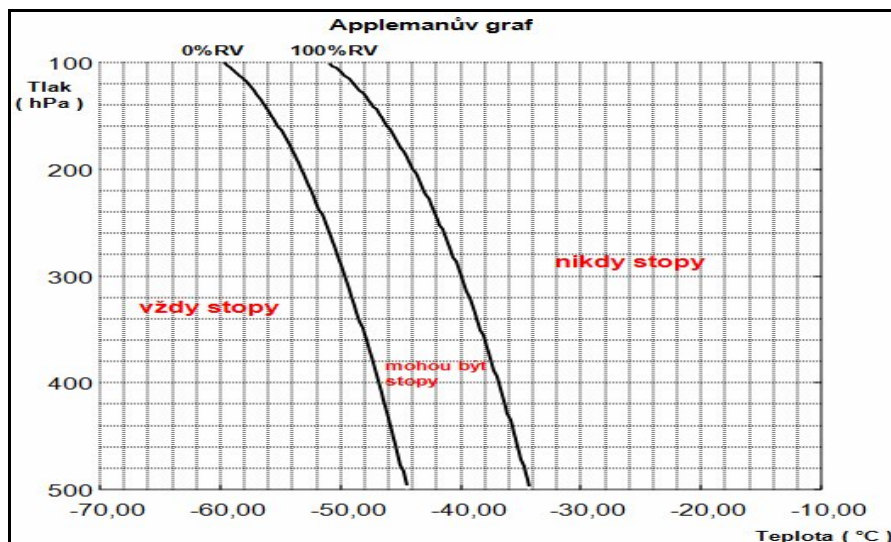
Trvale se nerozšiřující kondenzační pruhy existují na obloze zpravidla do čtyřiceti minut. Jsou velice jasné a dobře pozorovatelné.

Trvale se rozšiřující kondenzační pruhy jsou rozmazané, dlouhé a široké. Vysoká vlhkost v atmosféře dovoluje neustálé rozšiřování částíček ledu do okolí. Tyto pruhy mohou existovat několik hodin ale i několik dní. Mohou se stěhovat na velké vzdálenosti a svou rozlohou pokrýt až 35000 km<sup>2</sup>. Tyto pruhy se rozšiřují především v horizontální rovině, ojediněle směrem k zemi v oblastech se stříhem větru.

### **2.1.1 Podmínky vzniku**

Existence kondenzačních pruhů je podmíněna atmosférickými podmínkami, které panují při letu v okolí letadla. Vznikají především ve výškách od 8 do 12 kilometrů. Nelze ovšem říci, že v těchto výškách se vytvoří vždy. Pro vznik kondenzačních pruhů je nejdůležitější vlhkost a teplota okolního vzduchu.

Obsah vodní páry ve výfukových plynech je také podstatným činitelem. I když jen část vody tvořící kondenzační stopy pochází z letadla, většina je obsažena v atmosféře přirozeně. Aby došlo ke kondenzaci, musí relativní vlhkost dosáhnout 100%. Za určitých podmínek ale stačí k vytvoření krystalků ledu i nižší vlhkost.



Obr. 2.1.1. Applemanův graf

Applemanův graf je pouze orientační, a nelze se na něj 100% spolehnout. Předpověď kondenzačních pruhů je vcelku složitá. Tento graf prokázal 98% úspěšnost při vyloučení vzniku kondenzačních pruhů a přibližně 70% úspěšnost při jejich tvorbě.

## 2.1.2 Vliv kondenzačních pruhů na životní prostředí:

Mezi hlavní vlivy patří zejména:

- Odraz tepelného a slunečního záření Země a atmosféry
- Změna obsahu vodních par v atmosféře
- Globální zatemňování

Oblaka ve velkých výškách odrážejí krátkovlnné záření od slunce a zadržují dlouhovlnné záření ze Země a z atmosféry. Tím, že se kondenzační stopy mohou rozšiřovat a existovat až několik hodin či dní, je jasné, že se podílejí na změně klimatu v daném místě. Odraz krátkých vln od slunce způsobuje ochlazování Země, naopak zadržení dlouhých vln od Země způsobuje oteplování.

Důležitou roli hraje barva zemského povrchu. Je-li kondenzační pruh nad tmavým povrchem země, může množství energie odražené kondenzačním pruhem překonat množství zadržené energie, a tak Zemi ochladit. Je-li povrch země světlý, pak je poměr opačný a Země se otepluje. Oteplování je intenzivnější v noci a v zimním období.

Dalším faktorem ovlivňující životní prostředí je obsah vodní páry v atmosféře. Vodní pára je jedním z hlavních skleníkových plynů. V atmosféře se vyskytuje ve velkém množství, ovšem díky přírodnímu oběhu jen po krátkou dobu. Proudové motory jsou významnými producenty vodní páry, především ve vysokých výškách, kde mohou existovat podstatně déle než při zemském povrchu. Vodní pára vytvořená při zemi může existovat po dobu několika dnů, vodní pára vytvořená ve výšce nad 10km může existovat až několik měsíců, a tím narušovat přirozené a rovnoměrné rozložení koncentrace vodních par v atmosféře.



*Obr. 2.1.2. Rozšiřující se kondenzační pruh*

### **3 Analýza stavu environmentálního zatížení letišť Ostrava Mošnov a Karlovy Vary**

V České Republice můžeme letiště rozdělit do tří skupin, a to následujících:

- Letiště celostátního významu- do této kategorie patří letiště Praha
- Regionální letiště většího významu- do této kategorie spadají letiště Ostrava, Brno, Karlovy Vary a Pardubice
- Regionální letiště menšího významu- zde zařazujeme sportovní a aeroklubové letiště

Regionální letiště většího významu zde chápeme jako letiště, které nabízí vnitrostátní i mezinárodní lety, jsou ve vlastnictví kraje, obce, či soukromého subjektu a jsou provozována za účelem provozu letecké dopravy, která je nabízena cestujícím, turistům, podnikatelům a investorům.

V této analýze vycházíme z dat, poskytnutých letištěm Ostrava Mošnov a letištěm Karlovy Vary. Jedná se o provoz za jeden rok od 1.1.2008 do 31.12.2008.

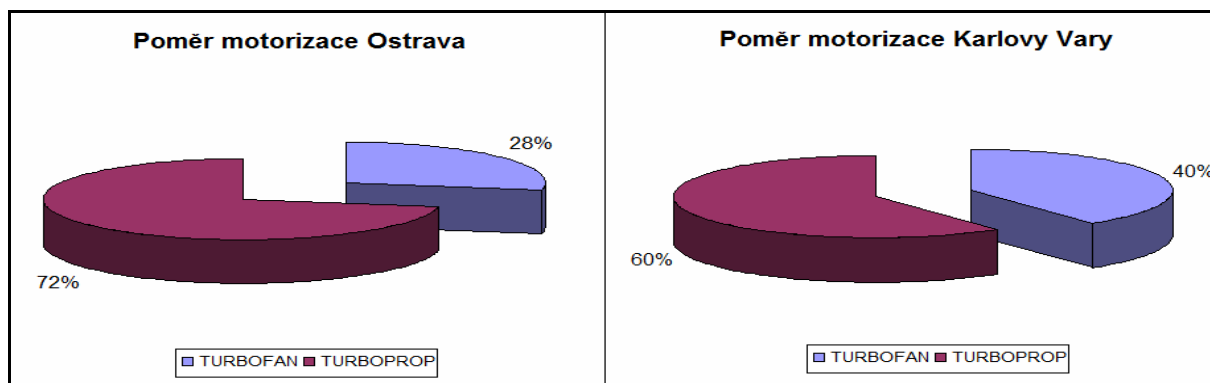
#### **3.1 Letouny s proudovými motory:**

Do této kategorie jsou zařazeny letouny, které používají motory typu turboprop a turbofan.

Princip funkce obou motorů je takřka totožný, liší se pouze způsob vyvození tahu. Letouny s motory turboprop používají k vyvození tahu vrtuli, která bývá spojena přes reduktor hřídelí s nízkotlakou turbínou.

Letouny s motory turbofan používají k vyvození tahu pouze energii vytékajících plynů přes výtokovou trysku. Tyto motory jsou dnes v obchodní letecké dopravě nejvyužívanější a lze je najít takřka na všech dnešních moderních letounech.

Na Mošnovském letišti spadá do této kategorie nejčastěji Boeing 737-800, v Karlových Varech Airbus A320. Nejčastějším zástupcem kategorie turboprop byl v Ostravě Saab 340 a v Karlových Varech Beriev Be 30. Na obou letištích je převaha letadel s motorizací turboprop.

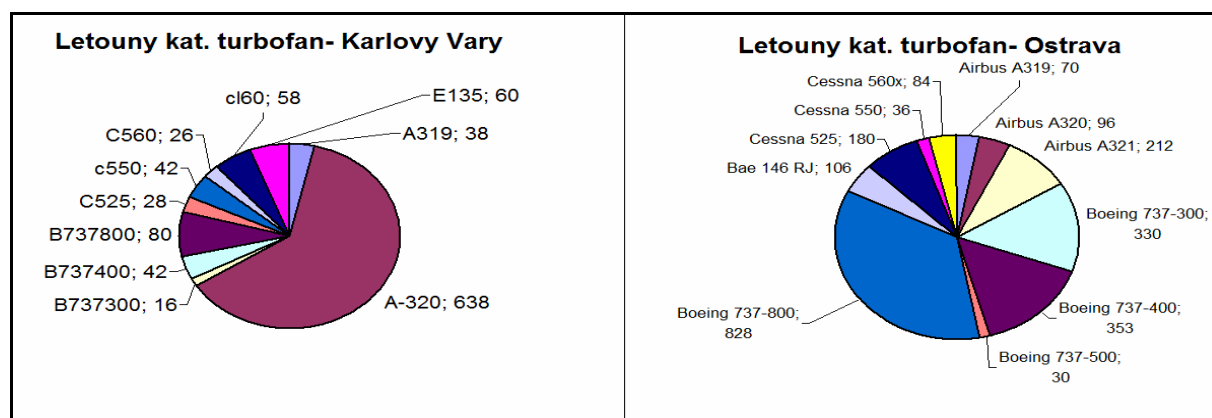


Obr. 3.1. Poměr motorizace

### 3.2 Letouny turbofan:

Letouny této kategorie jsou využívány především pro přepravu zboží, či cestujících převážně na delší vzdálenost. Na letišti Ostrava Mošnov jsou tak využívány především pro charterovou dopravu cestujících na letní dovolené. K pravidelné dopravě nebyly využity.

V Karlových Varech tyto letouny zajišťují pravidelné spojení s Ruskem. Létají do Moskvy a Petrohradu, a tím uspokojují poptávku místní ruské komunity.



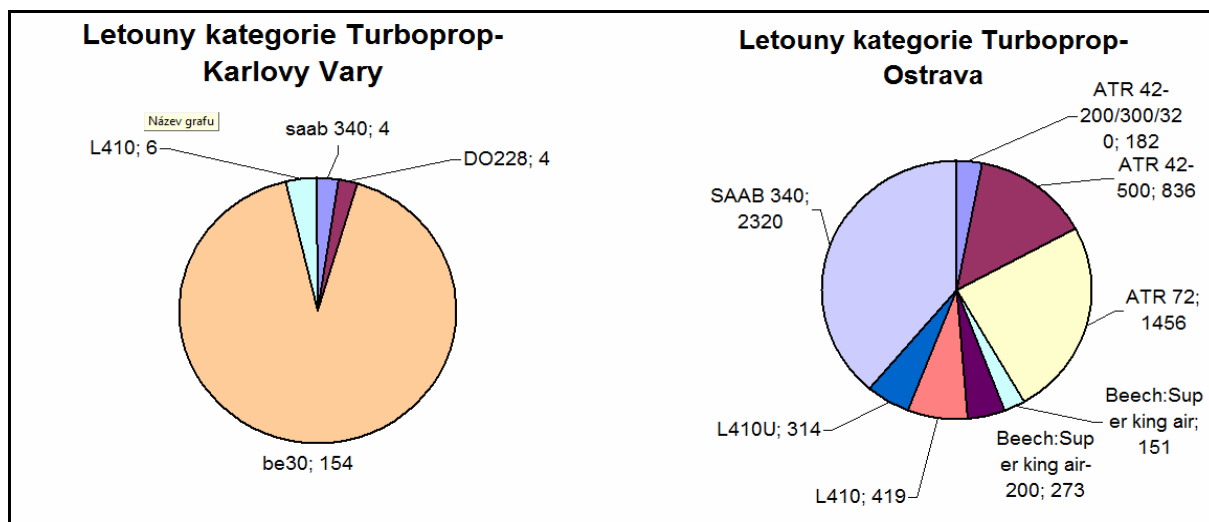
Obr. 3.2. Počty letounů s motory Turbofan

### 3.3 Letouny turboprop:

Tyto letouny jsou nasazovány pro lety na kratší vzdálenosti a pro menší počet pasažérů. Jsou schopny startovat a přistávat na kratších drahách, proto jsou oblíbeny všude tam, kde není prostor pro výstavbu dlouhé vzletové a přistávací dráhy. Díky těmto vlastnostem jsou také hojně využívány pro armádní a humanitární účely.

Na Ostravském letišti jsou tyto letouny nasazovány na pravidelných linkách, které spojují Ostravu s Prahou, Vídní a Mnichovem. Letouny zajišťující dopravu do těchto destinací byly nejčastěji Saab 340, ATR 42 a ATR 72.

Pro představu kolik emisí je vyprodukováno letounem ATR 42, jsem využil emisní kalkulátor ČSA a přibližně vyčíslil dané množství na lince mezi Ostravou a Prahou, která je v průměru létána 3x denně. Za rok tak tato linka vypustí do ovzduší na trati mezi těmito městy zhruba 1800 tun CO<sub>2</sub>, 700 tun H<sub>2</sub>O, 3,3 tuny SO<sub>2</sub>, 5,4 tuny NO<sub>x</sub>, 1,2 tuny HC a 9,6 tun CO. Ačkoli se tyto hodnoty mohou zdát vysoké, ve srovnání s automobilovou dopravou jsou nepatrně nižší. Nemluvě o době přepravy, kdy na rozdíl od automobilové dopravy, která trvá čtyři hodiny, trvá tento let zhruba 50 minut.



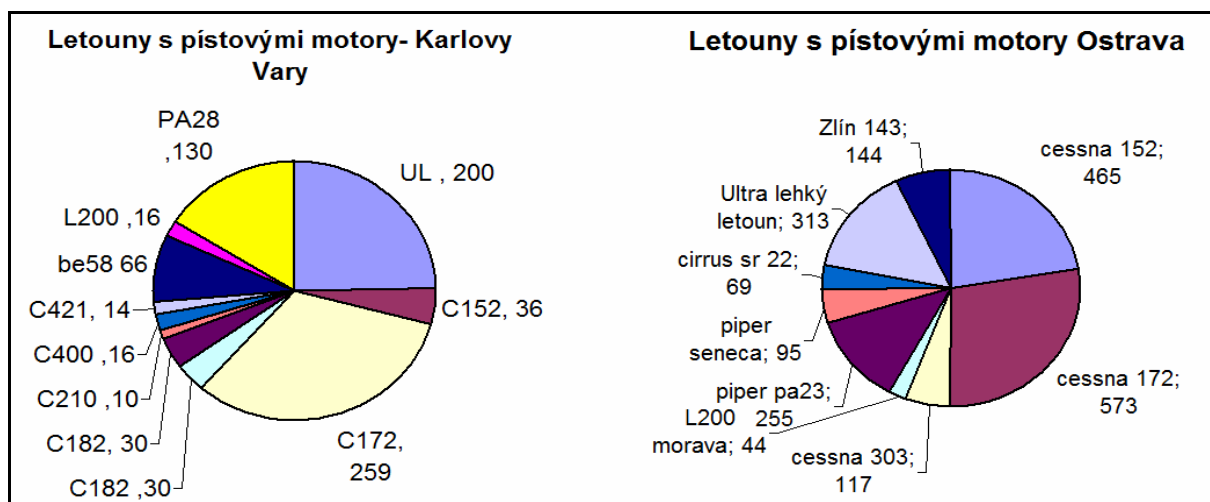
Obr. 3.3. Počty letounů s motory Turboprop



### 3.4 Letouny s pístovými motory:

Letouny této kategorie již nejsou příliš využívány pro obchodní leteckou dopravu, ale spíše pro rekreační využití, či pro výcvik pilotů. Tyto letouny se vyznačují pomalejší cestovní rychlostí, nižším dostupem a v neposlední řadě mnohem nižší pořizovací cenou. Vliv této kategorie na enviromentální prostředí je ze všech skupin nejmenší. Nicméně i s těmito letouny se zde setkáváme a je třeba je vzít v potaz.

Svou roli na frekvenci pohybu této kategorie letounů hraje jistě také firma Lets Fly, která na letišti Ostrava Mošnov provádí výcvik pilotů, nejčastěji s letouny Cessna 152, 172 a Piper Seneca.



Obr. 3.4. Počty letounů s pístovými motory

Jednotlivé lety můžeme dále rozdělit na:

- Pravidelné- 4303 (Ostrava), 684 (Karlovy Vary)
- Nepravidelné- 7484 (Ostrava), 2329 (Karlovy Vary)
- Vnitrostátní- 6167 (Ostrava), 902 (Karlovy Vary)
- Mezinárodní- 5630(Ostrava), 2112 (Karlovy Vary)

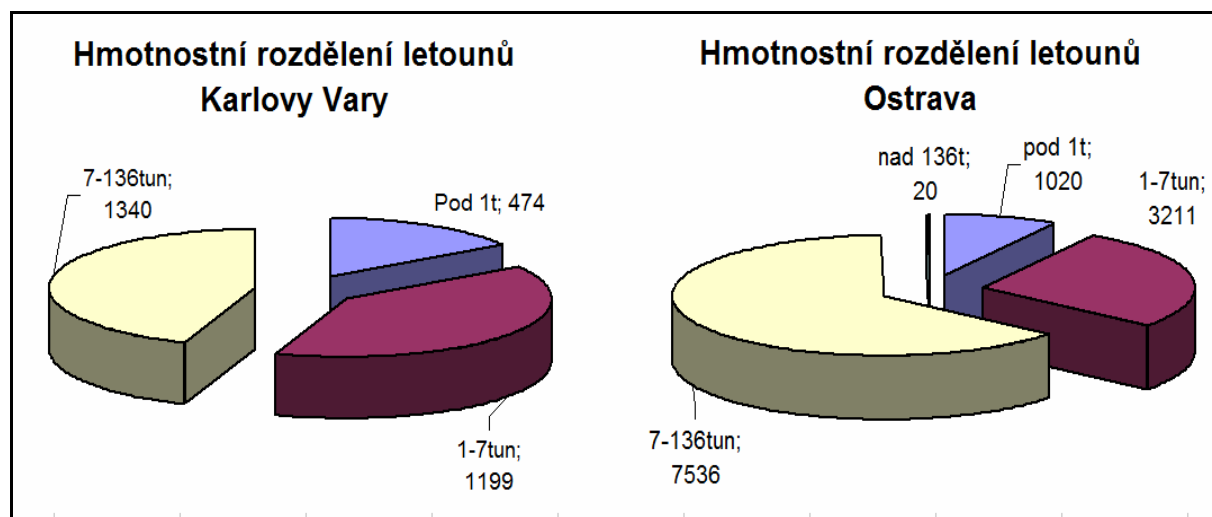
### 3.5 Rozdělení letounů dle hmotnosti:

Letouny jsem rozdělil podle maximální vzletové hmotnosti do 4 skupin. První 3 skupiny jsou rozděleny do hmotnostních kategorií dle turbulence v úplavu. Čtvrtá kategorie zahrnuje letouny s maximální vzletovou hmotností pod jednu tunu. Do čtvrté skupiny letounů se zařadily ultra lighty a malé letouny. Letouny této kategorie tvoří zhruba desetinu celkových pohybů.

Do další skupiny se zařadily letouny s hmotností větší než jedna tuna, ovšem menší než sedm tun. Zde patří už letouny vyšší výkonnostní třídy, menší bussines jetty či často frekventovaná L 410. Tato hmotnostní kategorie tvoří zhruba čtvrtinu všech pohybů.

Mezi 7 a 136 tunami se nachází drtivá většina všech letounů. Tato hmotnostní skupina má také dominantní podíl na celkovém počtu všech pohybů. V kategorii nad 136 tun bylo zaznamenáno pouze 20 pohybů. Byly to letouny Airbus A310, Boeing 767-300, Antonov 124- russlan a Ilyushin II-76.

V Karlových Varech nebyl zaznamenán žádný pohyb nad 136 tun.



Obr. 3.5. Hmotnostní rozdělení

## 4 Emise pohonných jednotek

Předpis L16/II definuje požadavky na proudové a dvouproudové pohonné jednotky, které byly vyrobeny 1. ledna 1986, nebo později a mají jmenovitý tah větší než 26,7 kN, a postupy pro měření jednotlivých motorů.

Palivo pro měření plynných emisí je definováno těmito vlastnostmi: Hustota v kg/m<sup>3</sup> při 15°C 780 – 820, výhřevnost paliva 42,86 – 43,50 (MJ/kg), obsah aromatických uhlovodíků 15 – 23 (obj.%), obsah naftalenu 1,0 – 3,5 (obj.%), výška nečadivého plamene 20 – 28 (mm), obsah vodíku, 13,4 – 14,3 (hm.%), obsah síry méně než 0,3% (hm.%), kinematická viskozita při – 20°C, 2,5 – 6,5 (mm<sup>2</sup>/s). V palivu nesmí být přítomny přísady, které se používají k potlačení kouřivosti (jako např. organo-kovové sloučeniny).

Mezi základní parametry, které tento předpis určuje, patří nastavení tahu a doba, po kterou je toto nastavení zachováno.

Provozní režim LTO	Nastavení tahu
Vzlet	100% Foo
Stoupání	85% Foo
Přiblížení	30% Foo
Pojíždění a volnoběh	7% Foo

Foo = jmenovitý tah

Pro účely zkoumání emisí motoru je to maximální vzletový tah, který byl schválen leteckým úřadem pro použití za normálních provozních podmínek nulové výšky mezinárodní standardní atmosféry (ISA), a to bez použití vstřiku vody. Tah se vyjadřuje v jednotkách kilonewtonů.

Fáze	Čas provozního režimu v min.
Vzlet	0,7
Stoupání	2,2
Přiblížení	4
Pojíždění a volnoběh	26

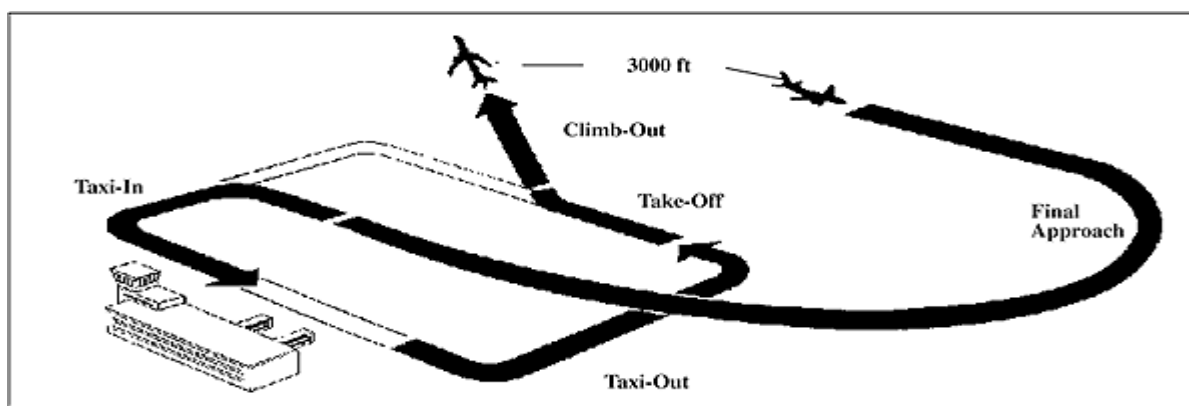
Emise se měří v referenčním emisním cyklu přistání a vzletu (LTO), který má 4 fáze. Každé fázi odpovídá nastavení tahu motoru a doba, po kterou je jednotlivá fáze vykonávána. Celý tento postup se odehrává v laboratoři. Ve výstupním prostoru motoru je rovnoměrně rozmístěno 12 sond, které měří požadované složky plynných emisí.

Mezi kontrolované emise předpisem L16/II tedy patří:

- Kouř ( kouřivost)
- Plynne emise: Nespálené uhlovodíky, Oxid uhelnatý, Oxidy dusíku ( $\text{NO}_x$ )

Emise kouře jsou udávány v jednotkách kouřového čísla, emise HC, CO a  $\text{NO}_x$  jsou udávány v g/kN vypuštěných během referenčního emisního cyklu přistání a vzletu (LTO).

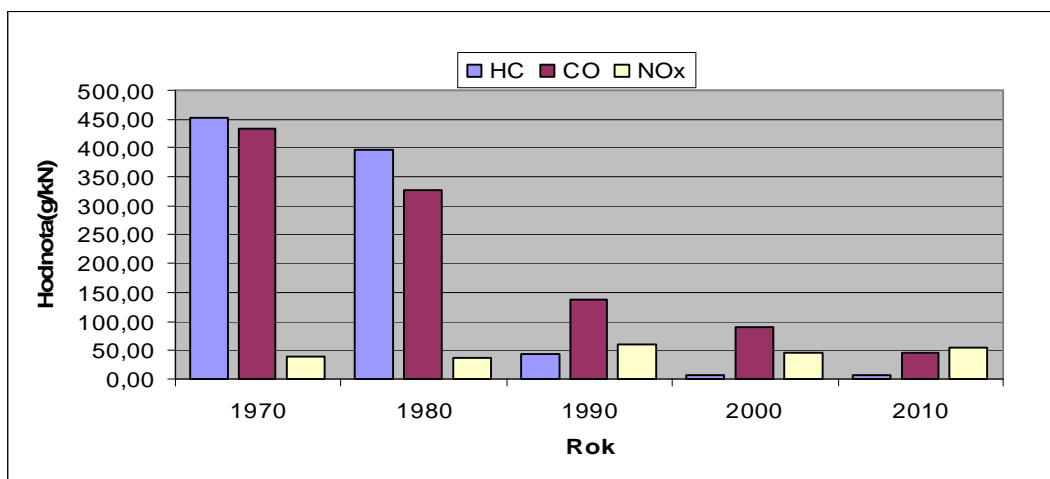
Předpis L16/II chápe naměřené hodnoty oxidu dusíku jako součet množství oxidu dusnatého a oxidu dusičitého v naměřeném vzorku.



Obr.4. Referenční emisní cyklus přistání a vzletu LTO

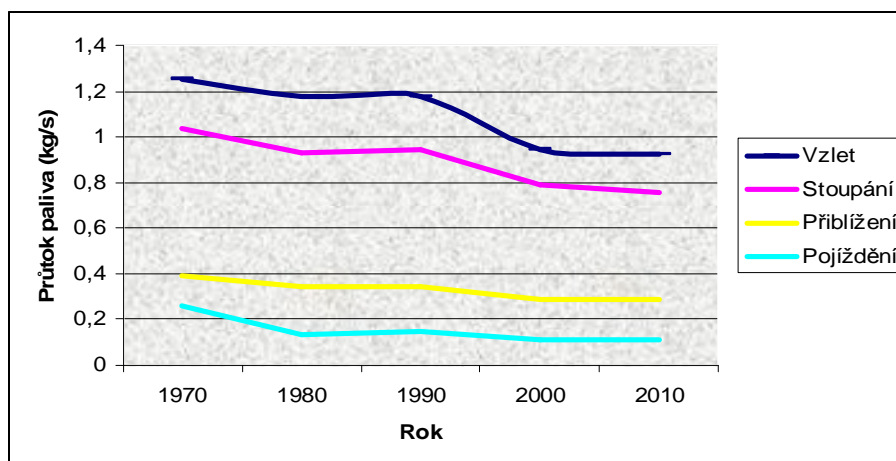
#### 4.1 Srovnání motorů:

Při srovnávání pohonných jednotek jsem vycházel z naměřených údajů emisní databanky proudových motorů. U všech těchto pohonných jednotek byla zjištěna emisní data dle předpisu L16/II.



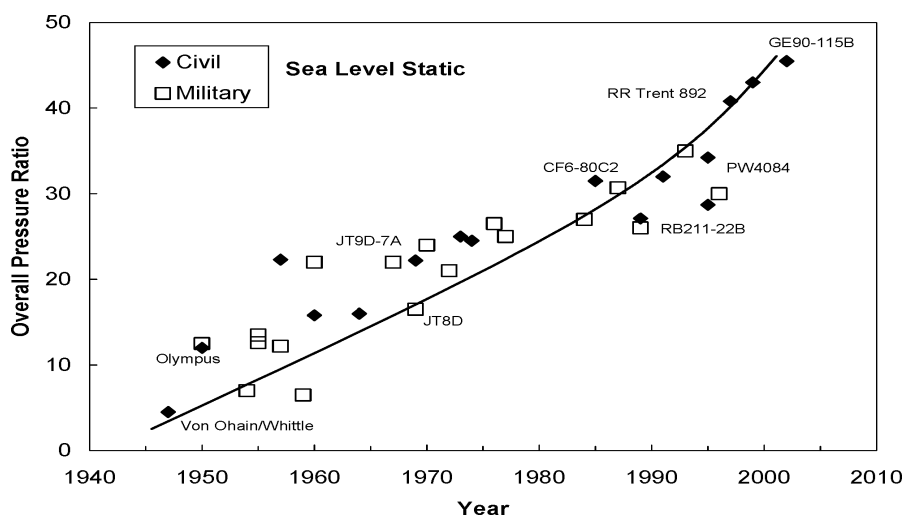
Obr. 4.1a. Vývoj produkce plyných emisí

Při výběru pohonných jednotek jsem volil takové, které mají přibližně shodnou hodnotu jmenovitého tahu. Z grafu je patrný obrovský pokrok, kterým motory prošly v posledních čtyřiceti letech. Došlo k rapidní redukci emisí oxidu uhlíku a uhlovodíků, přibližně o 90%.



Obr. 4.1b. Spotřeba paliva při jednotlivých fázích letu

Pokrok byl zaznamenán také v oblasti spotřeby paliva. Čím více paliva je spotřebováno, tím více emisních prvků je vyprodukováno, a proto i samotná spotřeba pohonných jednotek je velice důležitá. Výrobci pohonných jednotek jsou nuceni vyrábět stále výkonnější, spolehlivější a hospodárnější motory. Každý vyrobený motor musí splňovat požadavky stanovené předpisy. Z grafu kompresního poměru je patrný obrovský pokrok, který napomohl kvalitnějšímu spalování paliva a zvýšení samotné účinnosti pohonných jednotek. Nejmodernější pohonné jednotky tak mají kompresní poměr až 45:1.



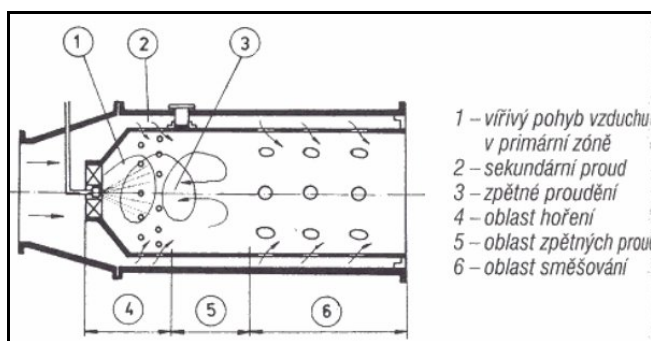
Obr. 4.1c. Vývoj kompresních poměrů pohonných jednotek

## 4.2 Spalovací komory

Z hlediska tvorby plynných emisí je spalovací komora jednou z nejdůležitějších částí pohonných jednotek. Zde se palivo přeměňuje v energii sloužící k vyvození tahu. Konstrukce spalovací komory určuje jak efektivně bude palivo využito a jak ekologický daný motor bude. Mezi hlavní požadavky na spalovací komory patří stabilita hoření, vysoká účinnost spalování, minimální hmotnost a rozměry, rovnoměrné rozvržení teplotního zatížení a dlouhá životnost.

Do spalovací komory je přiváděn stlačený vzduch z kompresoru, který je zpomalen z rychlosti 110-140 m/s na optimální rychlost hoření, což je přibližně 20 m/s. Tento proud vzduchu je pak rozdělen na primární a sekundární. Primární proud se účastní samotného hoření, sekundární slouží k ochlazování stěn spalovací komory a ke snížení teploty spalin, vstupujících do turbíny o teplotě 800-1100°C. Teplota v oblasti hoření se pohybuje okolo 2000°C. Ke zchlazení takto vysoké teploty je proto potřeba, aby sekundárního proudu vzduchu bylo přibližně 5x více.

Palivo je do spalovací komory vstříknuto pod vysokým tlakem, kde se rozpráší a zapálí. Vhodné rozprášení paliva je závislé na tvarovaných kanálcích, které se nacházejí v samotné trysce. Proud rozprášeného paliva má většinou tvar kužele a velikost jedné kapičky se pohybuje od 70 do 100  $\mu\text{m}$ .

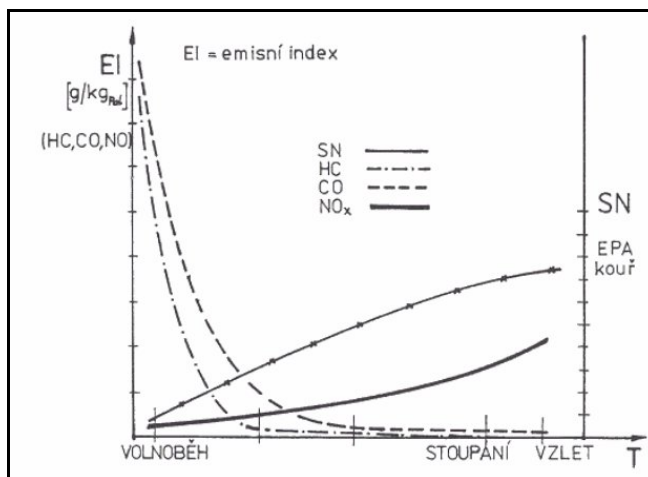


Obr. 4.2a. Schéma spalovací komory

Důležitou roli v produkci plynných emisí hraje také bohatost směsi. Ta se určuje podle poměru skutečného a teoretického množství vzduchu-  $\lambda$ . Rozlišujeme tak tyto směsi:

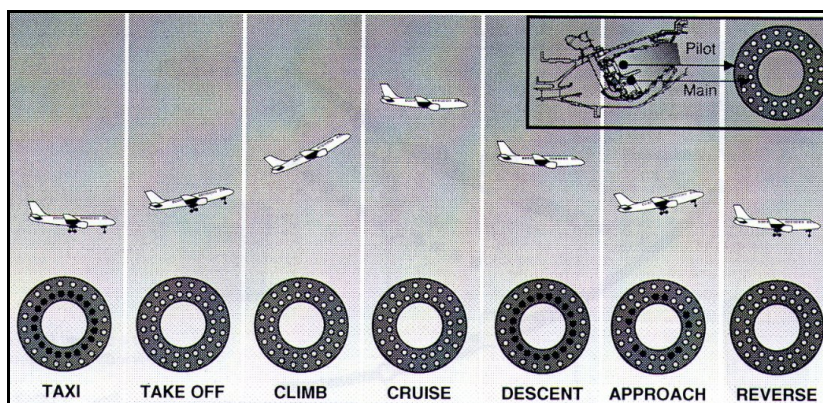
- Chudou  $\lambda > 1$ , kdy se ve spalinách nachází nevyužitý kyslík, obsahuje tak přebytek vzduchu.
- Ideální  $\lambda = 1$ , spaliny neobsahují žádný kyslík ani palivo, jde o dokonalé spalování a úplné využití paliva. Vzniká  $\text{NO}_x$ .
- Bohatou  $\lambda < 1$ , spaliny obsahují přebytek paliva, můžeme vidět kouř.

Z grafu pod textem je vidět, že docílit nízkých hodnot plyných emisí je velice složité. Se vzrůstající teplotou klesá množství oxidů uhlíku a uhlovodíků, ovšem roste produkce oxidů dusíku a zvyšuje se také samotná účinnost motoru.



Obr. 4.2b. Závislost teploty spalování na množství emisí ve spalínách

Princip moderních spalovacích komor, které jsou šetrnější k životnímu prostředí a zároveň šetří palivo, spočívá v tom, že nejvyšší teploty spalin jsou omezeny na co nejkratší dobu (spaliny jsou ihned ochlazovány) a samotného spalování se účastní jen nezbytné množství vzduchu. Toho je docíleno stálým vylepšováním tvaru spalovacích komor a větším počtem palivových trysek. Pro nízké hladiny HC a CO je zapotřebí delší doba hoření, vysoká teplota hoření a objemově větší spalovací komora. V přímém konfliktu s těmito požadavky jsou emise  $NO_x$  které jsou nižší při kratší době hoření, nižší teplotě hoření a menším objemu spalovací komory.



Obr. 4.2c. Schéma moderní spalovací komory a její provoz v jednotlivých režimech

### **4.3 Vývoj pohonných jednotek**

V dnešní obchodní letecké dopravě jsou nasazeny v drtivé většině proudové pohonné jednotky. Ty začaly být vyvíjeny před druhou světovou válkou a první let s tímto druhem pohonu se uskutečnil v srpnu roku 1939. Od té doby uplynulo přes osmdesát let intenzivního vývoje, a tak dnešní pohonné jednotky dosahují až 100 x vyššího tahu, několika násobně delší životností a nesrovnatelně vyšší spolehlivostí. Tohoto pokroku bylo dosaženo pokrokem v oblasti materiálového inženýrství, přesnějších výrobních procesů a nástupem výpočetní techniky.

#### **4.3.1 Dmyhadlo / kompresor**

Kombinace dmyhadla a kompresoru zavádí do letectví pojem obtokový poměr. Ten můžeme definovat jako poměr mezi množstvím vzduchu protékajícím vnější částí pohonné jednotky ku množství vzduchu protékajícího vnitřní částí pohonné jednotky. V dnešní době můžeme pozorovat nárůst tohoto poměru. Moderní motory dosahují hodnoty obtokového poměru 6-8. Vyšší kompresní poměr nám umožňuje dosáhnout vyšší tepelné účinnosti pohonné jednotky. Hodnota tepelné účinnosti nových motorů je až 50 % a vyjadřuje hodnotu přeměny tepla na mechanickou práci prostřednictvím daného tepelného oběhu.

Jednotlivé stupně kompresoru pak byly charakterizovány poměrem stlačení. Ten se pohyboval zpočátku okolo hodnoty 1,2. Dnes tato hodnota činí 1,6, což umožňuje snížení počtu stupňů kompresoru, a tím přispívá ke snížení hmotnosti pohonné jednotky.

Pokroku v této části pohonné jednotky bylo dosaženo díky nasazení lehkých kompozitních materiálů- kombinace grafitu a epoxidů pro dmyhadla, vysoce legované oceli pro lopatky kompresoru a rozšíření dalších dílů z titanu.



### 4.3.2 Turbína

V turbíně se přeměňuje tepelná energie v práci, a tak patří k jedné z nejdůležitějších částí motoru. Teploty v turbíně jsou velice vysoké, a na použitý materiál se tak kladou vysoké nároky v oblasti tepelné odolnosti. Nasazení vysoce legovaných materiálů, umožnilo dosahovat v turbíně vyšších teplot. Nicméně i tyto odolné materiály jsou různými systémy ochlazovány. A právě účinnost daného chlazení spolu s vývojem tepelně odolných materiálů jsou hlavními faktory ve zdokonalování samotné turbíny.

### 4.3.3 Spalovací komora

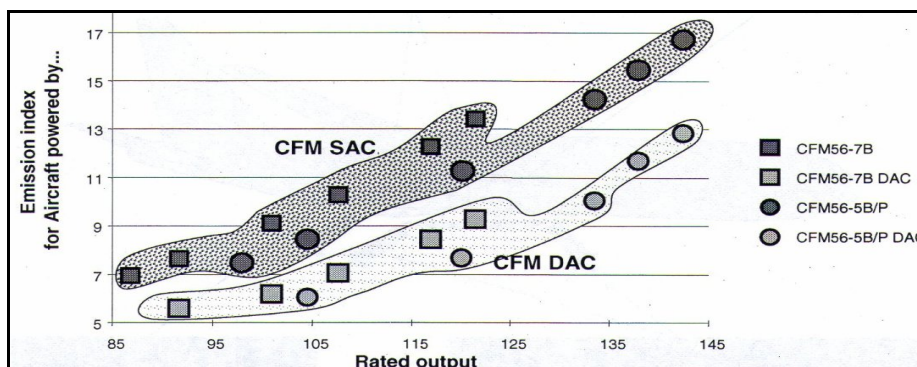
Pokrok ve funkci spalovacích komor byl zaznamenán s příchodem dvojitých prstencových spalovacích komor (DAC). Ty se poprvé objevili v motorech CFM567B.

Díky nim byla snížena především hodnota  $\text{NO}_x$ , jak je vidět z grafu a tabulky níže.

Dalším významným prvkem je systém přívodu sekundárního proudu vzduchu do spalovací komory tak, aby směs na vstupu do turbíny měla pokud možno co nejnižší teplotu, která hraje roli v životnosti turbíny.

Motor	CMF565B	CMF567B
Jmenovitý tah (kN)	137,9	121,4
Kompresní poměr	31,57	29
Průtok vzduchu (lb/s)	801	782
Průměr fanu (in)	61	61
Spotřeba paliva při LTO(kg)	464	444
Emise HC při LTO (g/kN)	712	273
Emise CO při LTO (g/kN)	3776	5320
Emise $\text{NO}_x$ při LTO (g/kN)	7723	5232
Použití	A 319,320,321	B 737 NG

Tab. 4.3.3. Srovnání parametrů pohonných jednotek



Obr. 4.3.3. Vliv dvojité prstencové komory na emise  $\text{NO}_x$

## 5 Legislativní prostředky pro snížení emisí v letecké dopravě

Někteří dopravci se již v dnešních dnech snaží sami snižovat míru vypouštěných emisí, je třeba donutit i ostatní dopravce k tomuto kroku, nejlépe legislativou, která by se vztahovala na veškerý letecký provoz. Již delší dobu se jedná o vhodné strategii, která by toho docílila. Je ovšem velmi těžké nalézt správný kompromis mezi ekonomickou a ekologickou stránkou věci, s ohledem na již tak vysoké náklady na provoz.

Mezi první variantu patří zdanění leteckého paliva. Od roku 1944 kdy byla přijata Chicagská úmluva, byla letadla zproštěna povinnosti platit clo při letech do území smluvního státu, přes něj, či z něj. Tento krok byl v počátcích chápán jako impuls k rozvoji letectví. Tyto výhody ovšem platí v některých státech ještě dodnes. Zdanění leteckého paliva by přineslo nemalé sumy do státních rozpočtů, kde by mohly být použity na různé projekty řešící ekologické problémy. Na druhou stranu by došlo ke zvýšení nákladů na provoz, což by mohlo vést ke zdražení letenek a následnému poklesu zájmu o leteckou dopravu. Této variantě se tedy letečtí dopravci velice brání. Evropská Unie ovšem již od roku 2002 tuto problematiku intenzivně řeší a probíhá reforma zdaňování pohonných hmot.

Další variantou je zavedení příletových a odletových poplatků. Každý dopravce by tak zaplatil poplatek ve výši vyprodukovaných emisí. Toto řešení by bylo jednoduché zavést, ovšem ukázalo se, že by zřejmě nemělo očekávaný efekt.

Nabízí se také možnost zavedení traťových poplatků, kde by opět platilo, že dopravce zaplatí za množství vypuštěných emisí na dané trati. I přes to, že vede k růstu nákladů dopravců, jedná se o řešení, které je podporováno oběma stranami, za předpokladu, že takto získané finanční prostředky budou investovány do výzkumu vlivu emisí v jednotlivých letových hladinách.

Všechny výše uvedené možnosti vedou k možnému zdražení nákladů, možnosti zvýšení ceny letenek a hrozbě snížení zájmu o leteckou dopravu. Varianta, která by tento problém řešila, je obchod s emisemi v letectví. Každý dopravce by tak měl přidělen limitní množství vypustitelných emisí, za jejichž překročení by musel zaplatit, či odkoupit rezervy od jiného dopravce, který zmíněné rezervy do naplnění emisního limitu má. Tato možnost se ukázala jako nejlepší a proto byla podpořena i organizací ICAO. Tato organizace se snažila vytvořit vlastní systém pro obchodování s emisními limity v letectví. Od roku 2008 se tak i část letectví, odehrávající se nad územím Evropské Unie, zapojila do systému obchodování s emisními povolenkami v systému ETS.

## 5.1 ETS systém

Schéma pro obchodování s emisními povolenkami (ETS) funguje od 1. ledna 2005. Bylo zavedeno jako součást boje s klimatickými změnami, neboť podle Evropské Unie se jedná o účinný nástroj ke snižování emisí skleníkových plynů, které povede k splnění cílů stanovených v Kjótském protokolu. V rámci ETS mohou výrobci energií nakupovat a prodávat omezený počet povolenek pro množství vypouštěného oxidu uhličitého na trhu. Z toho vyplývající ekonomická motivace jim má napomoci při plnění cíle snižování emisí CO<sub>2</sub> vypouštěných do ovzduší.

V roce 2005 zaznamenalo obchodování v rámci ETS úspěch. Celkový objem obchodovaných povolenek byl totiž vyšší než 6,5 miliard eur. Na druhé straně se ale objevily určité nedostatky, zejména velké kolísání cen poté, co vyšlo najevo, že členské státy získaly více emisních povolenek, než odpovídalo jejich skutečným emisím.

Důvodem pro zahrnutí letecké dopravy do ETS je neustálé zvyšování podílu letectví na emisích skleníkových plynů. Podle údajů Komise emise skleníkových plynů v letecké dopravě od roku 1990 vzrostly o 87% a nyní představují kolem 3,5% veškeré produkce skleníkových plynů. Podle návrhu směrnice budou od roku 2011 zahrnuty do systému ETS všechny lety v rámci Evropské unie a o rok později všechny lety do zahraničí. Komise odhaduje, že tak dojde do roku 2020 ke snížení emisí CO<sub>2</sub> o 46%. Horní limity povolenek budou stanoveny na základě průměru emisí v letech 2004 – 2006.

Zahrnutí letecké dopravy do ETS se projeví také v ceně letenek. Cena zpáteční letenky na lety v rámci Unie se zvýší o 1,8 až 9 eur.

## 5.2 Limity znečišťování ovzduší

Podle současné legislativy rozlišujeme tři různé limity:

1. Emisní limit- je nejvyšší přípustné množství znečišťující látky vypouštěné do ovzduší ze zdroje znečišťování.
2. Imisní limit- je nejvýše přípustná hmotnostní koncentrace znečišťující látky obsažená v ovzduší.
3. Depoziční limit- je nejvýše přípustné množství znečišťující látky usazené po dopadu na jednotku zemského povrchu za jednotku času.

Emisní limity jsou stanoveny pro všechny velké znečišťovatele ovzduší, jako jsou spalovny odpadů, elektrárny či jiné průmyslové subjekty. Emisní limity pro pohonné jednotky v letectví stanovuje předpis L16/II. Pro podzvukové proudové a dvouproudové motory, jejichž jmenovitý tah je větší než 26,7 kN a které byly vyrobeny 1. ledna 1986 a později, nesmí být úroveň plynných emisí překročena podle následujících vztahů:

- Uhlovodíky (HC):  $D_p/F_{oo} \leq 19,6$  (g/kN)
- Oxid uhelnatý (CO):  $D_p/F_{oo} \leq 118$  (g/kN)
- Oxidy dusíku (NO<sub>x</sub>):

§ pro motory schváleného typu nebo verze s prvním kusem sériové výroby do 31.12.1995 včetně a pro motory vyráběné kusově, které byly vyrobeny do 31.12.1999 včetně.  
 $D_p/F_{oo} \leq 40 + 2 \pi_{oo}$  (g/kN)

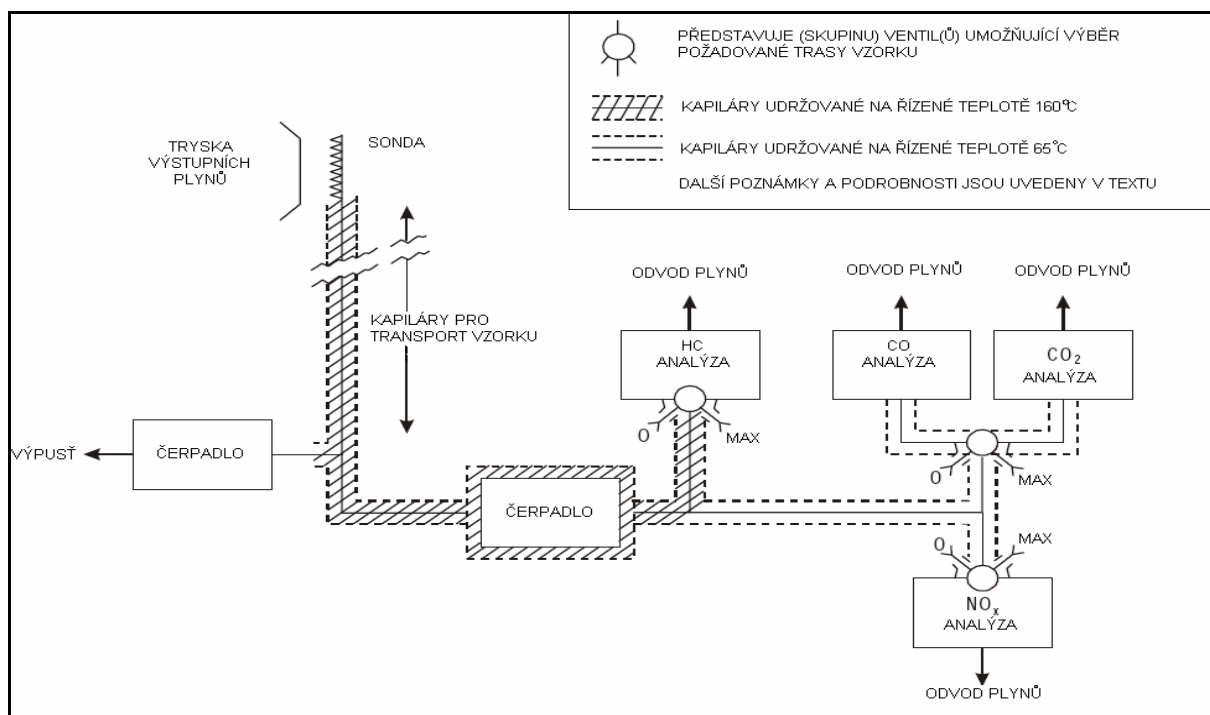
§ pro motory schváleného typu nebo verze s prvním kusem sériové výroby po 31.12.1995 a pro motory kusové výroby s datem výroby po 31.12.1999.  $D_p/F_{oo} \leq 32 + 1,6\pi_{oo}$  (g/kN)

$D_p$  = Hmotnost plynné znečišťující látky vypuštěné během referenčního emisního cyklu přistání a vzletu

$F_{oo}$  = Jmenovitý tah

$\pi_{oo}$  = Referenční poměr stlačení, což je poměr průměrného celkového tlaku v rovině konečného výstupu z kompresoru k průměrnému celkovému tlaku v rovině vstupu do kompresoru, když je motor v režimu vzletového tahu za statických podmínek nulové výšky mezinárodní standardní atmosféry (ISA).

Každý nový typ pohonné jednotky je tak testován před uvedením do provozu, kdy pomocí analyzátoru jsou změřeny hodnoty emisí jednotlivých látek. Jednotlivé fáze chodu motoru odpovídají LTO proceduře. Na základě naměřených hodnot, jmenovitého tahu a referenčního poměru stlačení je určeno, zda-li pohonná jednotka odpovídá předpisům a může-li být schválena pro provoz.



Obr. 5.2. Schéma systému pro měření emisních látek

Emisní limity tedy definují povolené množství vypouštěných látek do ovzduší přímo ze zdroje. Imisní limity se zabývají koncentracemi látek ve vzduchu již obsažených.

Hodnoty imisních limitů jsou vyjádřeny v  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  a jsou vztaženy pro teplotu  $0^\circ\text{C}$  a tlak 101,325 kPa a představují nejvyšší přípustnou koncentraci v ovzduší. Imisní limity stanovuje ministerstvo zdravotnictví daného státu.

Znečišťující látka	Doba působení	Hodnota Imisního limitu ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
SO <sub>2</sub>	1 hodina	350
	24 hodin	125
	rok	50
NO <sub>x</sub>	1 hodina	200
	rok	40
Polétavý prach	24 hodin	50
	rok	20
O <sub>3</sub>	8 hodin	120

Tab. 5.2. Hodnoty imisních limitů

### **5.3 Účinek prachových a plynných částic na lidské zdraví**

Vliv plynných a prachových částic obsažených v ovzduší na lidské zdraví, se odvíjí od velikosti dané částice. Částice o rozměrech větších než  $100\mu\text{m}$  je pro svou hmotnost pro lidské zdraví relativně málo nebezpečná. Mnohem nebezpečnější je působení částic menších rozměrů. Ty mohou být organického původu (např. pyly, bakterie), nebo anorganického původu (např. sírany, oxidy, dusičnany). Za 24 hodin dýchání, se dostane do respiračního systému člověka téměř  $0,01\text{ g}$  různě škodlivých částic, což je řádově několik miliard.

Částice větší než  $5\mu\text{m}$  jsou při vdechnutí zadrženy v dýchacích cestách (nos). Částice o rozměrech  $0,25 - 5\mu\text{m}$  jsou zadrženy až v alveolách (plicních sklípcích). Částice menší než  $0,25$  se vzhledem ke svým rozměrům začínají chovat jako plynné molekuly a jsou z velké části opět vydechovány.

Mezi škodlivé látky, které mohou poškozovat lidské zdraví, produkované leteckou dopravou patří oxid siřičitý, oxidy dusíku a oxidy uhlíku.

Oxid siřičitý je dráždivý plyn, poškozuje zejména dýchací systém a oční spojivky. Zhoršuje projevy astmatu a poškozuje řasinky epitelu. Dlouhodobé působení  $\text{SO}_2$  vede ke zvýšené úmrtnosti zapříčiněné chorobami krevního oběhu a snižuje imunitu. Při koncentraci  $100\mu\text{g}/\text{m}^3$  dráždí oči a horní cesty dýchací, při  $500\mu\text{g}/\text{m}^3$  narušuje činnost mozku, při  $2500\mu\text{g}/\text{m}^3$  poškozují plíce.

Oxidy dusíku podporují vznik nádorových onemocnění a nepříznivě působí na dýchací soustavu. Při vyšších koncentracích se váže na hemoglobin, a zhoršuje tak okysličování krve.

Oxid uhelnatý je silně toxický již od koncentrace  $100\text{ppm}$ . Při vdechování se váže místo kyslíku na hemoglobin a zabraňuje tak okysličení krve.

## 6 Letecká paliva

Palivo velkou měrou ovlivňuje efektivnost práce motoru, hospodárnost a ekologičnost. Jelikož se v letectví používají proudové motory, které jsou specifické, muselo být vyvinuto palivo, které bude nejvhodnější. Palivo ovlivňuje provozní teplotu motoru a také rychlosti ohřevu samotného motoru.

Dnešní moderní dopravní letadla používají letecký petrolej, dnes známý pod jménem JET- A1. Na něj jsou kladeny obrovské nároky co se týče kvality jeho složení. Nelze připustit poruchu motoru vlivem špatného paliva. O kvalitu pohonných hmot se stará soupis požadavků AFQRJOS, který mimo jiné posuzuje čistotu paliva, těkavostní a nízkoteplotní vlastnosti a kontaminaci nežádoucími příměsemi.

Spotřeba paliva se v průměru pohybuje okolo 3,5 litru paliva na osobu na 100km. Moderní letadla jako Boeing 787 či Airbus A380 mají tuto spotřebu pod 3 litry. I nepatrné zlepšení v úspoře paliva vede k obrovským úsporám v nákladech.

Jeden kilogram paliva vyprodukuje přibližně 3,15 kg CO<sub>2</sub> a 1,25kg H<sub>2</sub>O. V letectví se spotřebuje přibližně 12% paliva, určeného pro dopravu.

		JET A1 KEROSIN	RT KEROSIN	JET B široká frakce
Hustota při 20 °C	[kg m <sup>-3</sup> ]	775–840	775	751–802
Destilace začátek	[°C]	–	135	–
10 %		205	175	–
50 %		–	225	190
90 %		–	270	245
98 %		300	280	–
Ztráta a zbytek	[%]	3,0	–	3,0
Viskozita při +20 °C	[cSt]	–	1,25	–
–20 °C		8,0	16	–
Bod krystalizace	[°C]	– 47	– 55	– 50
Bod vzplanutí	[°C]	38	28	–
Výhřevnost	[MJ kg <sup>-1</sup> ]	42,8	43,2	42,8
Kyselost	[mg KOH/100ml]	0,15	0,2 – 0,7	–
Obsah aromatů	[%]	25,0	22,0	25,0
Výška nečadivého plamene	[mm]	25,0	25,0	25,0
Pryskyřice	[mg/100ml]	7,0	4,0	7,0
Síra celkově	[%]	0,30	0,10	0,30

Obr. 6. Druhy paliv proudových motorů

V obchodní letecké dopravě se nejvíce využívá palivo JET A1, které je díky vyššímu počtu atomů uhlíku v jedné molekule tohoto paliva, kvalitněji a efektivněji spalováno. JET A1 obsahuje 8-16 atomů uhlíků, JET B 5-15 atomů uhlíků v jedné molekule paliva. Má také lepší vlastnosti co se týče rozprašovací charakteristiky, tepelné stability hoření, snášenlivosti s kovovými materiály a bezpečnosti skladování.

## 6.1 Alternativní paliva

Již několik let je snaha o vytvoření paliva, které by bylo levnější a především ekologičtější. Letecký průmysl zkoumá použití bio-paliv, které by mohly nahradit dnešní paliva. Bio-palivo je vyráběno ze zemědělských plodin, je tudíž obnovitelné, a navíc při spalování nevzniká tolik škodlivých látek. V dnešní době se zkoumá využití tzv. bio-paliva druhé generace, které je získáváno takovou formou, která nevytlačuje plodiny potřebné pro potravinářský průmysl a je použitelné v dnešních pohonných jednotkách. Teoreticky může být bio-palivo vyrobeno z jakékoli plodiny, která absorbuje oxid uhličitý a ke svému růstu potřebuje sluneční energii. Jedná se tak o jakýsi pomyslný koloběh oxidu uhličitého, který je vyprodukován samotným spalováním a následně spotřebováván rostlinou k růstu. Ukázalo se, že je nejvýhodnější se zabývat plodinami, obsahující cukr a olej.

Velké naděje jsou vkládány do řas. Ty mohou být pěstovány takřka kdekoli na světě, ve slané i sladké vodě. Rostou velice rychle a obsahují až 15x více oleje.

V letecké dopravě již byly nasazeny první motory, které spalují bio-paliva. V roce 2008 Virgin Atlantic nasadil Boeing 747-400 s jedním motorem Rolls-Royce, který spaloval kombinaci bio-ethanolu s klasickým leteckým palivem JET A1 v poměru 50:50.

Kdyby bio-palivo mělo nahradit dnešní palivo určené pro letecký průmysl, musela by být pro pěstování řasy využita plocha rozlohou srovnatelná s Irskem.

Další výzkum se zabývá zavedením zkapalněného vodíku co by paliva. Již v padesátých letech 20.století začaly tyto výzkumy. 15.srpna 1988 ruský letoun TU 155 měl jeden ze tří motorů uzpůsoben tak, že spaloval vodík. Měl následovat TU 156 poháněn čistě vodíkem, ovšem vývoj tohoto letounu byl ukončen po pádu Sovětského svazu. Motor na vodík eliminuje emise CO<sub>2</sub>, na druhou stranu však produkuje velké množství vodní páry. Problematické je taky skladování vodíku v tekutém stavu. Aby byl vodík tekutý, musí být pod velkým tlakem, nebo zchlazen na teplotu -250°C. Také kvůli tomuto důvodu se upustilo od dalšího vývoje. Připravoval se také letoun Airbus A300, ovšem ani ten nikdy poháněný vodíkem nevzlétl. Proto se hledá takové palivo, které by bylo možné použít v současných letadlech a motorech, bez větších zásahů do nich.

V dnešní době však není rozšíření alternativních paliv v letectví příliš reálné.



## 7 CAEP

CAEP je zkratkou pro Committee on Aviation Environmental Protection, což v překladu znamená výbor pro ochranu životního prostředí v letectví. Tento výbor pracuje pod ICAO a všechny nařízení ICAO ohledně životního prostředí jsou prací CAEPu. Tato organizace byla založena v roce 1983, kdy nahradila výbor pro hluk letadel a výbor pro emise z letadel. Má 21 členů a 6 skupin. Dvě skupiny jsou zaměřeny na technické a provozní postupy a prostředky pro snížení hluku a emisí, další tři skupiny se zabývají řešením a zaváděním vydaných opatření do provozu a obchodováním s emisními povolenkami. Poslední skupina se specializuje na ekonomickou stránku boje se snižováním emisí v dopravě.

Vydává limity pro emise NO<sub>x</sub>, CO, HC a smog. Dále spolupracuje s ICAO na:

- Minimalizaci počtu obyvatel v okolí letišť zatěžovaných hlukem
- Snížení vlivu letecké dopravy na místní kvalitu ovzduší
- Snížení produkce skleníkových plynů a zmírnění dopadu letecké dopravy na globální klima
- Emisní normě

Emisní norma NO<sub>x</sub> byla poprvé přijata v roce 1981. V roce 1993 zavádí ICAO 20% snížení pro všechny nově vyrobené motory. Další 16% snížení bylo zavedeno v roce 1998 a pro motory vyrobené od roku 2008 je limit NO<sub>x</sub> nižší o dalších 12%.

## 8 Snižování emisí na regionálních letištích

Každé letiště přináší pro své okolí jistou míru zatížení místního životního prostředí. Samotné vybudování letiště podstatně mění tvář krajiny, přináší sebou výstavbu komunikací a nárůst pozemní dopravy. Je tedy vhodné minimalizovat vliv letecké dopravy a provoz samotného letiště na životní prostředí dané oblasti.

### 8.1 Služba řízení letového provozu

Všechny provoz daného letiště spadá pod řízení letového provozu. Služba řízení tak ovlivňuje dobu, po kterou jsou nahozeny pohonné jednotky, kudy budou letouny pojíždět, jak a kam stoupat, či klesat. Čím kratší bude doba, kdy bude letadlo pojíždět, či jen bude stát s nahozenými motory, tím méně paliva spotřebuje, a logicky vyprodukuje méně plynných emisí. Prostředky pro snížení plynných emisí na daném letišti, které může aplikovat služba řízení letového provozu tedy jsou:

- Příděl co nejkratších tras pojíždění
- Zkrácení příletové a odletové trasy
- Zkrácení doby vyčkávání

### 8.2 Posádka

Samotná posádka a její styl letu také může přispět ke snížení plynných emisí. Velkou roli hrají také postupy samotného dopravce, které posádka musí dodržovat. Mezi hlavní faktory, kterými posádka může snížit hodnotu plynných emisí patří:

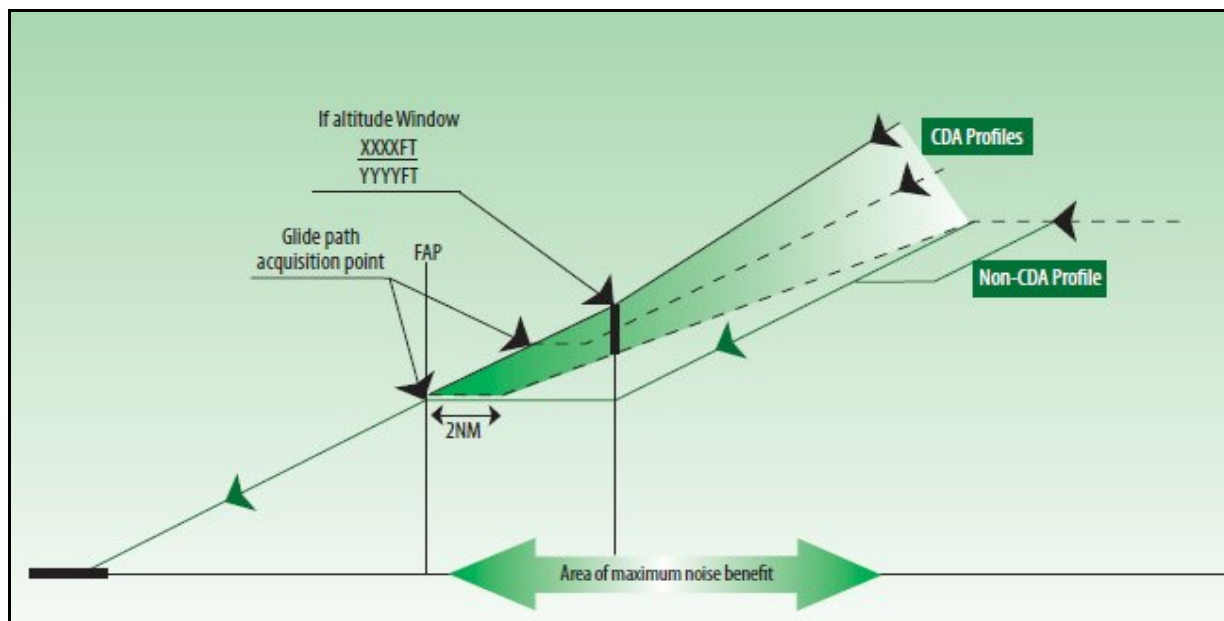
- Použití minimálního počtu motoru pro pojíždění
- Vyčkání s letadlem u nástupních bran s vypnutými motory, předpokládá-li se zpoždění
- Využití pozemního zdroje na odbavovací ploše
- Co nejvhodnější rozmístění nákladu
- Před vzletem odstranění možné vrstvy ledu

### 8.3 CDA- Continuous descent approach

CDA znamená postupné klesání na přiblížení. Tento postup byl vymyšlen pro snížení spotřeby při sestupu a snížení hluku a emisí v oblastech přistávací dráhy. Letadlo klesá s minimálním tahem motorů. Posádka letící v hladině zahájí sestup až v posledním okamžiku pro bezpečné provedení klesání. Kdyby bylo CDA aplikováno na 20 letišť a každý druhý sestup by byl proveden podle CDA, přineslo by to finanční úsporu na palivu ve výši 50-100 miliónu eur ročně. Dalším přínosem je snížení hluku a emisí v přilehlých oblastech letiště.

Pro zavedení tohoto postupu a jeho provedení musí být vycvičena posádka i služba řízení letového provozu na daném letišti. Při výcviku posádky je kladen důraz na LP/LD postupy, které znamenají let s minimálním tahem a minimálním odporem letadla. Dále tento postup přináší i novou frazeologii.

Jistý problém který by zde mohl nastat, je v radionavigačních prostředcích. Drtivá většina letišť používá systém ILS, který je limitován dosahem a má pevný sestupový úhel. Dosah localiseru je 46,3 km a dosah glide pathu je 18 km. Existuje celá řada letadel, která by dokázala klesat strměji než 3°. Tento fakt by se dal eliminovat použitím systému MLS, který má dosah až 55 km a sestupová rovina má rozsah od 0,9° po 20°. Další výhodou je možnost pozdějšího nalétnutí do osy dráhy, respektive vytvoření směrového zakřivení při sestupu.



Obr. 8.3. CDA sestup

## 9 Globální prostředky pro snížení emisí

Touto problematikou se zabývá řada dopravců i leteckých organizací. Letectví jako jediné vypouští do ovzduší škodliviny ve velkých výškách. Celkový podíl letectví na změně klimatu je velice malý, nicméně s vyhlídkami do budoucna, kdy je letecké dopravě prognózován až dvojnásobný nárůst, je dobré se touto tematikou zabývat. Dopravci se tak snaží o co nejefektivnější provádění letů s ohledem na co nejnížší cenu. Byl tak zaveden balík opatření pod názvem Flight cost management.

### 9.1 *Flight Cost Management*

Flight Cost Management se zabývá optimalizací letů za co nejmenších nákladů na jednotlivý let. Zahrnuje v sobě program Fuel Efficiency, který se zabývá efektivním využíváním pohonných hmot. Flight Cost Management definuje tyto hlavní nákladové položky dopravce:

- Pohonné hmoty- Náklady na pořízení paliva pro bezpečné provedení letu. Dopravce se snaží snížit spotřebované palivo na minimum.
- Údržba- Náklady pokrývající povinnou údržbu, pravidelné prohlídky apod. Snaha o zkrácení doby pro provedení údržby či opravy.
- Přeletové poplatky- Poplatky službám ŘLP
- Letový čas posádek- Náklady na mzdy. Snaha o menší počet posádek při jejich maximální vytíženosti.

Flight Cost Management uvádí několik základních kroků, pro snížení nákladů na provoz a provedení letu:

- Snížení hmotnosti letadla
- Lepší plánování letů a vhodný výběr vzletové či přistávací dráhy s ohledem na směr trati
- Vertikální a horizontální optimalizace letu
- Snížení nadbytečného paliva na palubě- tento krok je ovšem velice diskutabilní. Mnoho dopravců klade důraz na velitele letadel, aby minimalizovali množství paliva, které může být nadbytečné.

## 9.2 Cost Index

Cost index v překladu znamená index nákladů. Tento pojem je spjat s prováděním letu a jeho náklady a dá se popsat jako poměr mezi celkovými náklady na čas provozu letadla (např. v \$/hodinu) a náklady na pohonné hmoty (např. \$/kg). Výpočet nákladů na hodinu provozu je velice složitý proces a může se lišit mezi dopravci. Dalo by se říci, že jsou to všechny náklady na provoz, bez ceny paliva. Získaným poměrem získáme index od 0 do 99.

Hodnota 0 odpovídá Maximum Range Cruise- v tomto režimu je kladen minimální důraz na náklady na provoz letadla, ovšem maximální na hodnotu spotřebovaného paliva. Výsledkem je maximální dolet za co nejnižší spotřeby, při pomalejší cestovní rychlosti.

Hodnota 99 pak odpovídá nejkratší době letu. Klade se důraz na co nejvyšší rychlost letu i za cenu vyšší spotřeby paliva.

Hodnoty mezi 0 a 99 jsou pak nastaveny pro potřebu konkrétního letu a musí zahrnovat celou řadu různých faktorů ovlivňujících let na dané trase. Nejčastěji se bere v potaz směr a rychlost výškových větrů na trati a využití či vyhnutí se Jet-steamu.

Celkově se dá říci, že na dlouhých tratích se uplatňuje nižší cost index, na tratích kratších se může vyplatit vyšší cost index. Tento index si ovšem volí jednotliví dopravci různě v závislosti na jejich ekonomické filozofii.

Praxe ukázala, že při cost indexu 12 pro letouny Boeing 737 nové generace, na letech delších než 1000 nm je doba letu jen minimálně delší, ovšem úspora na palivu se při ročním provozu vyšplhá až na několik miliónu ročně. S každou úsporou paliva tak klesá i množství plyných emisí a snižování vlivu letecké dopravy na životní prostředí.

### 9.3 Fuel Efficiency

Oblast snižování spotřeby paliva, je při zvyšování ceny pohonných hmot velice důležitá a každý dopravce bere na tuto oblast zřetel. Organizace IATA se zavázala, že spotřeba paliva bude v roce 2020 o 25% nižší, než v roce 2005. Vypracovala postupy a předpoklady pro efektivní využívání pohonných hmot- Program Fuel Efficiency.

Je rozdělen do tří oblastí:

- Technologická oblast- v té jsou zahrnuty poznatky z vývoje pohonných jednotek a jejich budoucnosti. Klade důraz na modernizaci provozovaných letadel staršího data výroby, nasazení wingletů na co největší počet letadel. V roce 2017 by mělo 10% pohonných jednotek v provozu fungovat na alternativní zdroj paliva.
- Provozní oblast- Co nejvíce spolupracovat se systémem řízení letového provozu s cílem létat co nejlevněji, efektivně plánovat lety a snižovat hmotnost letadel.
- Infrastruktura- Pohyb letadel po letišti se spouštěnými motory po dobu co možná nejkratší.

Pro maximální snížení spotřeby a emisí, je potřeba spolupráce všech zúčastněných stran v letecké dopravě. Do budoucna se počítá, že největší přínos pro snížení spotřeby a emisí jsou tyto technologické oblasti:

- Rám letadla- zlepšení aerodynamiky, hmotnosti a použitých materiálů.
- Motory- nová architektura, vylepšení efektivity spalování, použití lepších materiálů.
- ATM- efektivnější využití vzdušného prostoru a navýšení jeho kapacity s využitím v budoucnu kvalitnějších navigačních zařízení.
- Alternativní paliva

Samotní výrobci letadel dnes používají a vyvíjejí stále ekologičtější a ekonomičtější letadla. Jsou nuceni splňovat environmentální cíle, které stanovilo ICAO a ACARE.

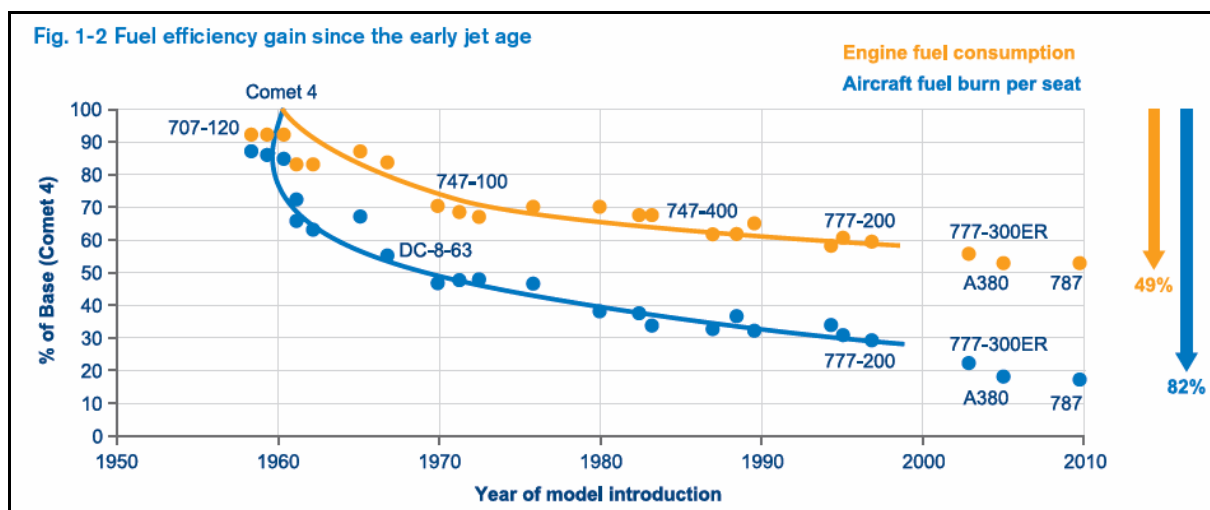
Od počátků obchodní letecké dopravy uplynuly již desítky let a dnes vidíme obrovský pokrok, kterým dopravní letadla prošly. První proudové motory určené pro civilní provoz byly nasazeny v padesátých letech. V sedmdesátých letech registrujeme první dvouproudé motory, které oproti tehdejším mají o 33% nižší spotřebu a snižují úroveň hluku a emisí. V roce 1985 byly schváleny první pohonné jednotky pro provoz dle podmínek ETOPS. Díky tomuto kroku se zkrátily lety ze Severní Ameriky do Evropy a Asie.

Začínají se používat winglety na koncích křídel za účelem snížení indukovaného odporu. Díky tomu se snižuje celková spotřeba o 3-5%. V roce 2007 je dodáno na 2300 wingletů pro letadla, která doposud nebyla takto vybavena. To vede k úspoře 2 844 000 litrů paliva za den.

V roce 2008 firma Boeing zavádí pro letouny řady 737 nové karbonové brzdy. Ty jsou lehčí o 250 až 315 kilogramů než brzdy předešlé. To vede k roční úspoře paliva přibližně o 32000 litrů a vyprodukování o 80tun menšího množství emisí CO<sub>2</sub>. Jsou zaváděny přesnější navigační systémy a nové lehčí materiály.

Každé nové letadlo tak musí být vždy úspornější než letadla podobného typu v provozu. Airbus se svým posledním modelem A380, spotřebuje o 17% méně paliva, než letadla podobného charakteru a vyprodukuje pouze 75g CO<sub>2</sub> na osobokilometr.

V roce 2016 se plánuje uvedení do provozu letounu A350, který má mít o 25% menší spotřebu paliva než letadla dané kategorie. Boeing 787 patří mezi nejnověji navrhnuté a provozované letadlo, ve kterém se nachází celá řada nových technologií, které se podepsaly na 20% snížení spotřeby. Jsou to především nové motory, kompozitní materiály snižující hmotnost letadla a nová aerodynamika. Mezi další novinky patří letoun Boeing 747- 800, ten snížil spotřebu paliva a produkci CO<sub>2</sub> o 16% oproti předchozí verzi 747-400.



Obr. 9.3. Pokrok ve spotřebě paliva

## **9.4 Vliv údržby na spotřebu paliva**

Již dlouho se ví, a je bezpečně prokázáno, že kvalitní a včasná údržba se pozitivně podílí na snížení spotřeby pohonných hmot. Provozovatel se tak musí optimálně rozhodnout mezi náklady na potřebnou údržbu a výhodami z ní plynoucí. Největší pozornost je kladena na snižování aerodynamického odporu letounu, činnost navigačních zařízení a správnou činnost pohonných jednotek.

Aerodynamický odpor letadla se obvykle zvyšuje s jeho stářím. Tím že je letadlo provozováno v atmosféře, která je stále proměnlivá, působí na něj celá řada faktorů, různě namáhajících jeho konstrukci. Se zvyšujícím se stářím letadla je spjata také zvyšující se prázdná hmotnost letadla. Ukázalo se, že dopravní letoun za 5 let provozu ztěžkne až o 500kg. Jakékoliv vyosení či vyhnutí konstrukce letadla vede ke zvýšení odporu. Velký důraz je také kladen na čistotu letadla, zejména pak na náběžných hranách křídel a vertikálních a horizontálních ocasních plochách. Při mytí povrchu letadla je třeba věnovat pozornost pohonné jednotce. Do motorů se mohou zanést nečistoty a následně se v něm usadit, což může vést ke zvýšení spotřeby a snížení životnosti. Veškeré drsnosti na povrchu letadla by měly být rozleštěny. Dalším důležitým prvkem je odmrazování při podmínkách způsobujících námrazu. Ta je nebezpečná hlavně pro letouny se štíhlejším profilem křídla, vybavené pohonnými jednotkami, neumožňující rychlé prostoupání oblasti námrazu.

Kontrola všech palubních přístrojů, a jejich správná činnost je také velice důležitá. Při změně rychlosti o 0,01 M se mění spotřeba o 1%. Důraz je také kladen na autopilota a jeho možné vyosení letadla vůči směru letu. To může vést k razantnímu nárůstu aerodynamického odporu a spotřeby paliva.

U pohonných jednotek je třeba brát zřetel na správné mazání jednotlivých částí, opotřebení lopatek, usazování mazací kapaliny či nečistot a na teplotu a vibrace v jednotlivých částech motoru při provozu.

Při startu je důležité mít optimální tlak v pneumatikách, proto jsou kontrolovány snímače tlaku a signalizace poklesu tlaku. Start s podhuštěnou pneumatikou vede k prodloužení potřebné délky dráhy pro vzlet vlivem zvýšeného valivého odporu.



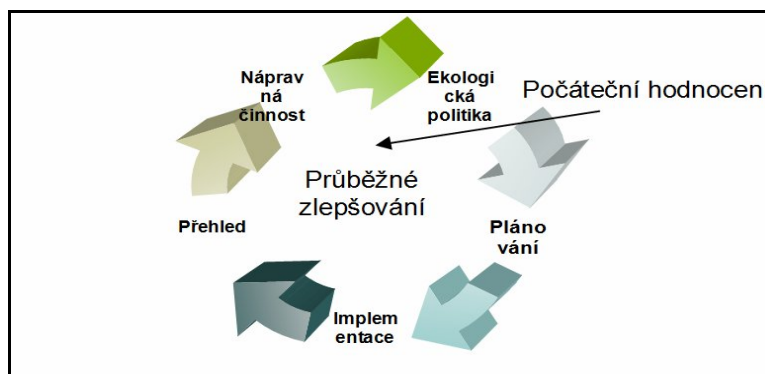
## 10 Management životního prostředí na letišti

Systém managementu životního prostředí na letišti nám pomáhá určovat vliv jednotlivých aktivit na okolí letiště. Snaží se minimalizovat dopad škodlivých procesů a vylepšovat systém ochrany životního prostředí. Je to tedy jakýsi balíček opatření, sloužící ke snížení vlivu letecké dopravy a provozu letiště na životní prostředí. Získá-li letiště certifikát EMS (Environment Management Systém), je pak pravidelně kontrolováno, zda přistupuje k životnímu prostředí dle přísných kritérií. Zavedení tohoto systému sebou přináší tyto výhody:

- Úspora nákladů
- Zavedení systematických postupů pro ochranu životního prostředí
- Snížení ekologických rizik
- Vylepšení jména mezi zákazníky a cestujícími

Kromě hlavních bodů, jako je hluk a plynné emise, řeší také hospodaření s vodou, odpady a energií. Na letišti je několik druhů vody či provozních kapalin, které musejí být zpracovány či vyčištěny. Při odmrazování je vypuštěno na provozní plochu velké množství vody s glykolem. Tuto směs je třeba zachytit a kanalizací odvézt do čističky odpadních vod. Některá velká letiště tuto směs recyklují a znova používají. Do čističky odpadních vod musí být odvedena veškerá použitá voda z letiště.

Při hospodaření s odpady je opět důležitá recyklace a třídění odpadu. Letiště s počtem odbavených cestujících nad 5 milionů za rok, dokáží vyprodukovat stejné množství odpadu jako malé město. Je nutné stanovit strukturu odpadů daného letiště a na základě těchto informací vhodně uzpůsobit následovné zpracování.



Obr. 10. EMS cyklus

## 11 Závěr

Tato bakalářská práce nastínila problematiku plyných emisí produkovaných proudovými motory dopravních letounů. Samotné snižování environmentálního zatížení regionálních letišť je velice složitý proces a jistě by si zasloužil ještě podrobnější rozpracování. Je patrné, že letecký průmysl dělá vše pro to, aby jeho vliv na celosvětové klima byl co nejnižší. Nově vyvíjené pohonné jednotky jsou čím dál ekologičtější, samotné letadla lehčí, s menším aerodynamickým odporem a pozitivně se vyvíjí i systém řízení letového provozu v souvislosti se snižováním dopadu letecké dopravy na životní prostředí. Do budoucna lze očekávat nástup alternativních paliv, které by postupně měli vytlačovat dnešní palivo. Je ovšem otázkou kdy, a zda-li vůbec se to někdy podaří.

## 12 Seznam použitých pramenů:

- [1] Volner, R. a kolektiv, Flight Planing Management, CERM s.r.o. Brno, 2007, ISBN 978 – 80 – 7204 – 496 – 2
- [2] Obroučka, K. , Ochrana ovzduší I. , VŠ podnikání a.s. Ostrava, 2003, ISBN 80 – 86764 – 00 – 1
- [3] Herčík, M. , Lapčík, V. , Obroučka, K. , Ochrana životního prostředí, VŠB Ostrava, 1994, ISBN 11 – 244357 – 7035 – 94
- [4] Niccoli, R. , Historie letectví, Rebo, 2006, ISBN 80 – 7234 – 307 – 6
- [5] [http://www.icao.int/icaonet/dcs/9889/9889\\_en.pdf](http://www.icao.int/icaonet/dcs/9889/9889_en.pdf) (8.4.2010)
- [6] <http://www.ubmaviationnews.com/Publications/AviationandtheEnvironment/tabid/117/Default.aspx> (8.4.2010)
- [7] <http://www.newairplane.com/environment/continuousInnovation/timeline/> (8.4.2010)
- [8] <http://www.caa.co.uk/default.aspx?catid=702&pagetype=90> (8.4.2010)
- [9] <http://www.eea.europa.eu/themes/air> (8.4.2010)
- [10] [http://www.grida.no/publications/other/ipcc\\_sr/?src=/climate/ipcc/aviation/107.htm](http://www.grida.no/publications/other/ipcc_sr/?src=/climate/ipcc/aviation/107.htm) (8.4.2010)
- [11] <http://www.icao.int/env/aee.htm> (8.4.2010)
- [12] [http://www.eurocontrol.int/environment/public/standard\\_page/env\\_tools.html](http://www.eurocontrol.int/environment/public/standard_page/env_tools.html) (8.4.2010)
- [13] <http://docs.google.com/viewer?url=http://www.tzb-info.cz/docu/predpisy/download/NV597-2006.pdf> (8.4.2010)
- [14] <http://www.airbus.com/en/corporate/gmf2009/> (8.4.2010)
- [15] [http://www.eurocontrol.int/environment/gallery/content/public/documents/cda\\_brochureA4\\_may08\\_web.pdf](http://www.eurocontrol.int/environment/gallery/content/public/documents/cda_brochureA4_may08_web.pdf) (8.4.2010)
- [16] [http://www.eurocontrol.int/environment/gallery/content/public/documents/CEM\\_final\\_17%2011%2008.pdf](http://www.eurocontrol.int/environment/gallery/content/public/documents/CEM_final_17%2011%2008.pdf) (8.4.2010)
- [17] [http://www.jpmorganclimatecare.com/media/documents/pdf/aviation\\_emissions\\_offsets.pdf](http://www.jpmorganclimatecare.com/media/documents/pdf/aviation_emissions_offsets.pdf) (8.4.2010)
- [18] [http://www.faa.gov/regulations\\_policies/policy\\_guidance/envir\\_policy/media/aeprimer.pdf](http://www.faa.gov/regulations_policies/policy_guidance/envir_policy/media/aeprimer.pdf) (8.4.2010)
- [19] <http://www.pdfgeni.com/book/Aero-engine-material-pdf.html> (8.4.2010)
- [20] [http://www.icao.int/icaonet/dcs/9889/9889\\_en.pdf](http://www.icao.int/icaonet/dcs/9889/9889_en.pdf) (8.4.2010)
- [21] Letecký předpis L16/II Ochrana životního prostředí- emise letadlových motorů, změna č.6 , Ministerstvo dopravy ČR, ŘLP ČR, (8.4.2010)

## **Přílohy**

Příloha A: Protokol o měření hodnot emisí

Příloha B: Schéma užití a produkce fosilních/ bio paliv

Příloha C: Jednoduchá a dvojitá spalovací komora

# Průloha A: Protokol o měření hodnot emisí



## ICAO ENGINE EXHAUST EMISSIONS DATA BANK

### SUBSONIC ENGINES

ENGINE IDENTIFICATION: CFM56-7B22  
 UNIQUE ID NUMBER: 3CM031  
 ENGINE TYPE: TF

BYPASS RATIO: 5.3  
 PRESSURE RATIO ( $\pi_{co}$ ): 24.41  
 RATED OUTPUT ( $F_{co}$ ) (kN): 100.97

#### REGULATORY DATA

CHARACTERISTIC VALUE:	HC	CO	NOx	SMOKE NUMBER
$D_p/F_{co}$ (g/kN) or SN	6.4	48.6	52.4	15.4
AS % OF ORIGINAL LIMIT	32.7 %	41.2 %	59.0 %	65.2 %
AS % OF CAEP/2 LIMIT (NOx)			73.7 %	
AS % OF CAEP/4 LIMIT (NOx)			90.3 %	

#### DATA STATUS

- PRE-REGULATION  
 x CERTIFICATION  
 - REVISED (SEE REMARKS)

#### TEST ENGINE STATUS

x NEWLY MANUFACTURED ENGINES  
 - DEDICATED ENGINES TO PRODUCTION STANDARD  
 - OTHER (SEE REMARKS)

#### EMISSIONS STATUS

x DATA CORRECTED TO REFERENCE  
 (ANNEX 16 VOLUME II)

#### CURRENT ENGINE STATUS

(IN PRODUCTION, IN SERVICE UNLESS OTHERWISE NOTED)  
 - OUT OF PRODUCTION  
 - OUT OF SERVICE

#### MEASURED DATA

MODE	POWER SETTING (% $F_{co}$ )	TIME minutes	FUEL FLOW kg/s	EMISSIONS INDICES (g/kg)			SMOKE NUMBER
				HC	CO	NOx	
TAKE-OFF	100	0.7	1.021	0.1	0.5	23.1	-
CLIMB OUT	85	2.2	0.844	0.1	0.6	19	-
APPROACH	30	4.0	0.298	0.1	2.5	10	-
IDLE	7	26.0	0.105	2.5	22.8	4.5	-
LTO TOTAL FUEL (kg) or EMISSIONS (g)			390	432	4002	4560	-
NUMBER OF ENGINES				1	1	1	1
NUMBER OF TESTS				3	3	3	3
AVERAGE $D_p/F_{co}$ (g/kN) or AVERAGE SN (MAX)				4.22	39.58	45.16	12
SIGMA ( $D_p/F_{co}$ in g/kN, or SN)				-	-	-	-
RANGE ( $D_p/F_{co}$ in g/kN, or SN)				-	-	-	-

#### ACCESSORY LOADS

POWER EXTRACTION 0 (kW) AT - POWER SETTINGS  
 STAGE BLEED 0 % CORE FLOW AT - POWER SETTINGS

#### ATMOSPHERIC CONDITIONS

BAROMETER (kPa)	97.8-98.0
TEMPERATURE (K)	294-297
ABS HUMIDITY (kg/kg)	.0100-.0157

#### FUEL

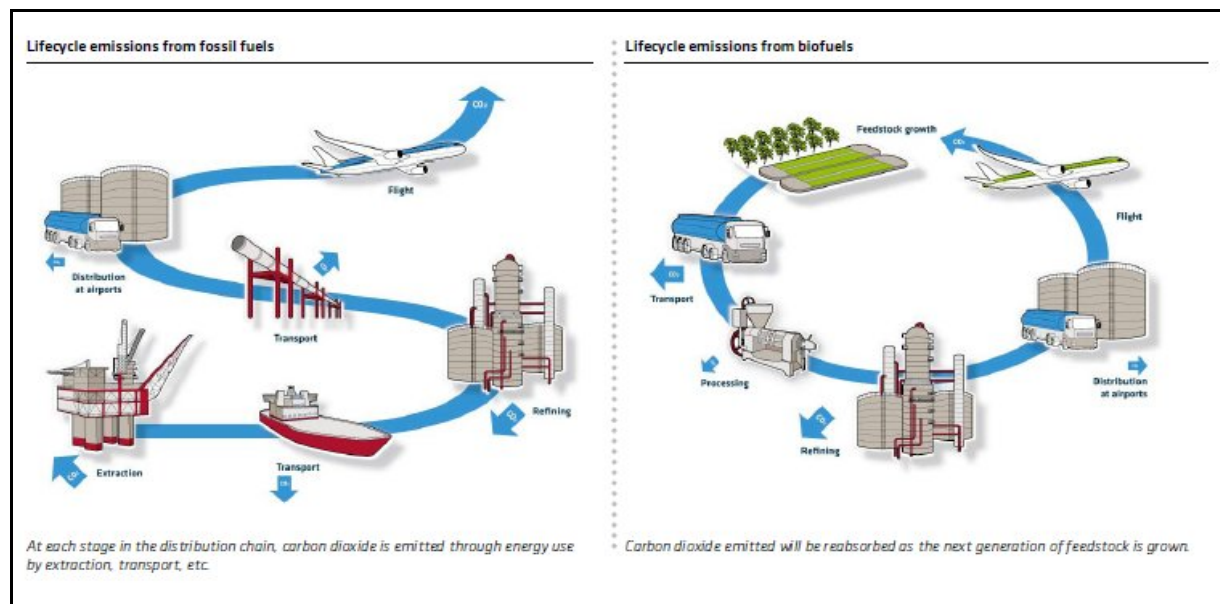
SPEC	Jet A
H/C	1.86-1.97
AROM (%)	16.9-17.7

MANUFACTURER: GE  
 TEST ORGANIZATION: CFM56-7B Eval Engineering  
 TEST LOCATION: Peebles Test Operation, Peebles, Ohio, USA  
 TEST DATES: FROM Jul 96 TO -

#### REMARKS

1. FAA Certification Report CR-997, Dec 96.
2. Engine S/N 874-101/01

## Příloha B: Schéma užití a produkce fosilních/ bio paliv



## Příloha C: Jednoduchá a dvojitá spalovací komora

